



**PENGARUH DUST PROPORTION SPENT  
CATALYST RCC (LIMBAH PERTAMINA) TERHADAP  
KARAKTERISTIK MARSHALL DAN DURABILITAS PADA  
CAMPURAN HOT ROLLED SHEET  
DENGAN KEPADATAN MUTLAK**

**TESIS**

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil

Oleh :

**JAVID HURRIYANTO**

**PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2008**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **PENGARUH DUST PROPORTION SPENT CATALYST RCC (LIMBAH PERTAMINA) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN DURABILITAS PADA CAMPURAN HOT ROLLED SHEET DENGAN KEPADATAN MUTLAK**

Disusun Oleh :

**JAVID HURRIYANTO**

**NIM : LA4003017**

**Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :**

.....

**Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Magister Teknik Sipil**

**Tim Penguji :**

**1. Ketua : Ir. Djoko Purwanto, MS.**

.....

**2. Anggota 1 : Drs. Bagus Priyatno, ST. MT.**

.....

**3. Anggota 2 : Bapak Ir. Muhrozi, MS.**

.....

**4. Anggota 3 : Ir. Siti Hardiyati, MT.**

.....

Semarang, ..... 2008

**Universitas Diponegoro  
Program Pascasarjana  
Magister Teknik Sipil**

## KATA PENGANTAR

Segala puji penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkah dan rahmat yang telah dilimpahkan-Nya, sehingga Laporan Akhir Tesis dengan judul **Pengaruh Dust Proportion Spent Catalyst RCC (Limbah PERTAMINA) Terhadap Karakteristik Marshall dan Durabilitas Pada Campuran Hot Rolled Sheet Dengan Kepadatan Mutlak** dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir Tesis merupakan salah satu persyaratan Program Magister Teknik Sipil. Penyusun berharap semoga Laporan Akhir Tesis ini dapat diterima dan bermanfaat bagi konstruksi bidang jalan. Penyusun menyadari Laporan Akhir Tesis ini jauh dari sempurna untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran dari pembaca agar menjadi lebih sempurna.

Penyusun mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada berbagai pihak yang telah banyak membantu, kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Suripin, M.Eng, selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro
2. Bapak Ir. Djoko Purwanto, MS dan Almarhum Bapak Ir. Das'at Widodo, MS atas bimbingan dan arahannya dalam penyusunan Tesis.
3. Bapak Drs. Bagus Priyatno, ST. MT, Bapak Ir. Muhrozi, MS dan Ibu Ir. Siti Hardiyati, MT selaku dosen pembahas Tesis.
4. Bapak Ir. Danis H Sumadilaga, M.Eng.Sc Bina Marga – DPU Jakarta atas pemberian ijin studi-nya.
5. Para Pimpinan dan Staf Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
6. Pimpinan dan Staf Laboratorium Transportasi Universitas Diponegoro.
7. Kedua orang tua serta Istri tercinta atas inspirasi dan doanya.
8. Pimpinan dan staf kantor Pembangunan Jalan dan Jembatan Metropolitan Semarang II – Bina Marga.
9. Kepada segenap pihak yang telah membantu terima kasih atas partisipasinya.

Akhirnya penyusun berharap semoga Laporan Akhir Tesis ini bermanfaat bagi penyusun khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Semarang, September 2008

Penyusun

## ABSTRAK

### PENGARUH DUST PROPORTION SPENT CATALYST RCC (LIMBAH PERTAMINA) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN DURABILITAS PADA CAMPURAN HOT ROLLED SHEET DENGAN KEPADATAN MUTLAK

Di Indonesia pada umumnya menggunakan lapisan permukaan konvensional berupa lapis tipis aspal beton (Laston) atau *Hot Rolled Sheet* (HRS) dan lapis aspal beton (Laston) atau *Asphalt Concrete* (AC). Tetapi kinerja dari lapisan permukaan ini tidak terlalu memuaskan dan kerusakan dini sering terjadi. Kerusakan tersebut terlihat berupa terjadinya gelombang (*corrugation*) dan retak-retak (*cracks*). Hal tersebut sangat dimungkinkan karena kualitas material penyusun campuran aspal panas. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh filler *spent catalyst* RCC (limbah Pertamina) terhadap kinerja campuran aspal panas, dalam hal ini Laston HRS-WC yang mengacu pada Spesifikasi Baru (2001).

Hasil persiapan dan pengujian bahan baik agregat dan aspal serta penentuan gradasi campuran HRS-WC menunjukkan hasil sesuai persyaratan. Selanjutnya dilakukan penelitian tahap I untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan menggunakan metoda *Marshall*. Penelitian tahap II untuk mencari nilai *Marshall* pada kondisi standar (2x75 tumbukan) dan *refusal density* (2x400 tumbukan) untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, *density*, stabilitas, *Flow*, *MQ*, serta *IRS* perendaman standar. Sedangkan pengujian perendaman modifikasi untuk menentukan nilai indeks durabilitas pertama ( $r$ ,  $R$ ) dan nilai indeks durabilitas kedua ( $S_a$ ,  $S_A$ ). Pengujian dilakukan dengan campuran HRS-WC pada variasi dust proportion rendah (0,55), sedang (0,90) dan tinggi (1,25) pada masing-masing penggunaan jenis filler (*spent catalyst* dan Abu Batu konvensional).

Penelitian tahap I memperoleh KAO untuk campuran dengan filler *spent catalyst* 8,375 % sementara untuk campuran dengan menggunakan filler abu batu konvensional didapatkan nilai 7,225 %. Dari hasil penelitian tahap II dapat terlihat bahwa hubungan nilai *Marshall* dan variasi dust proportion terhadap lama perendaman, untuk hasil analisa *void* memenuhi persyaratan pada tingkat kepadatan standar (2x75 tumbukan) dan kepadatan *refusal density* (2x400 tumbukan) terkecuali nilai *VIM* untuk campuran yang menggunakan filler *spent catalyst* hanya masuk syarat spesifikasi  $VIM_{3-6}$  pada campuran dengan dust proportion 0,90 dan 1,25 sedangkan pada campuran dengan filler abu batu konvensional terjadi pada campuran dengan DP 1,25 saja. Disamping itu nilai *VFA* pada campuran dengan filler *spent catalyst* semuanya masuk spesifikasi pada keseluruhan variasi DP, tetapi pada campuran dengan menggunakan filler abu batu konvensional hanya pada campuran dengan DP 1,25. Nilai pengujian stabilitas, *flow*, *MQ* pada kondisi standar dan kondisi *refusal density* untuk semua variasi penggunaan filler dan dust proportion serta lama perendaman memenuhi persyaratan.

Pengujian perendaman modifikasi menghasilkan Indeks Durabilitas I, dimana lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks ( $r$  dan  $R$ ) baik pada kondisi standar dan kondisi *refusal density*, yang berarti HRS-WC semakin kehilangan kekuatan. Perendaman modifikasi juga menghasilkan Indeks Durabilitas II, dimana lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai Indeks Stabilitas Sisa ( $S_a$ ) baik pada kondisi standar maupun *refusal density*, yang berarti tingkat keawetan HRS-WC semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin lama HRS-WC terendam air akan membuat kerapatan campuran berkurang dan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat baik kohesi maupun adhesi melemah.

Dari analisa terhadap data hasil dari penelitian di laboratorium didapatkan campuran dengan filler *spent catalyst* menghasilkan analisa *Marshall* yang optimum pada DP 0,9 dan DP 1,25 sementara pada campuran dengan filler abu batu konvensional DP 1,25 saja. Kebutuhan kadar dust proportion tinggi dikarenakan campuran yang digunakan adalah HRS-WC yang mempunyai karakteristik bergradasi senjang sehingga kebutuhan terhadap aspal tinggi yang akan berdampak kebutuhan terhadap filler juga tinggi. Sehingga perlu kiranya dilakukan penelitian

lanjutan apabila jenis campuran yang digunakan adalah campuran *asphalt concrete* semisal AC-WC.

Kata Kunci : *HRS-WC, Refusal Density*, Indek Durabilitas, dust proportion, filler, *spent catalyst* RCC

**ABSTRACT**

**THE INFLUENCE OF DUST PROPORTION SPENT CATALYST RCC  
(WASTE of PERTAMINA) TO CHARACTERISTIC of MARSHALL AND  
DURABILITY AT MIXTURE of HOT ROLLED SHEET WITH  
PERCENTAGE of REFUSAL DENSITY**

In Indonesia generally use conventional surface course in the form of Laston or Hot Rolled Sheet (HRS) and endue concrete asphalt (Laston) or Asphalt Concrete (AC). But the performance of this surface course do not too satisfy and damage early often happened. The damage seen in the form of the happening of wave (corrugation) and cracks. The mentioned very conducive because quality of material formation of hot asphalt mixture. Pursuant to the problems require to be research about the influence of spent catalyst RCC filler (waste of Pertamina) to hot asphalt mixture performance, in this case Laston HRS-WC which related to the New of Specification (2001).

The findings of preparation and test to the sample material, the amount of both aggregate and asphalt, as well as the gradation of HRS-WC mixture indicate that the sample materials meet the requirement of latest specification. Marshall method was applied at the first term research to find the Optimum Asphalt Content (OAC). The second term research was aimed to get the value of Marshall at standard condition (2 x 75 blows) as well as the value of refusal density (2 x 400 blows) which was aimed to discover VIM, VMA, VFA, density, stability, flow, MQ, and the IRS of standard immersion. The modification of immersion was applied to find the first value of durability index (r,R) and the value of second durability index (Sa, SA). The research have done with mixture of HRS-WC at variation of low dust proportion (0,55), middle dust proportion (0,90) and high dust proportion (1,25) with usage type of filler (spent catalyst and conventional ash stone).

First term research found that the OAC value for mixture with spent catalyst RCC was 8,375 % and the value for mixture with conventional ash stone was 7,225 %. The second term research showed that there was a correlation between Marshall value, dust proportion and the immersion time, the result of void analysis met the requirement at standard density level (2x75 blows) and refusal density level (2x400 blows) except the value of Void In the Mix (VIM) for mixture with spent catalyst filler only passed the specification  $VIM_{3-6}$  at dust proportion of 0,90 and 1,25 while at mixture with conventional ash stone happened at mixture with DP 1,25 only. The value of Void Filled with Asphalt (VFA) at mixture with catalyst spent filler altogether enter the specification at overall of dust proportion variation, but at mixture by using conventional ash stone only passed at mixture with dust proportion 1,25. The value examination of stability, flow, MQ at standard condition and refusal density for all variation usage all variation of dust proportion and also variation of immersion was fulfill conditions of specification.

Modification of immersion test discovered Durability I Index, where immersion time caused the increasing of index score (r and R) at both standard condition and refusal density condition. This indicates that the HRS-WC losses its power. Modification of immersion also discovered Durability II index, where immersion time leads index score of residual stability (Sa) to decrease at both standard and refusal density condition. This result indicates that the duration level of the HRS-WC is getting low. This also shows that the longer time HRS-WC immersed in water resulted in decreasing density level of the mixture and decreasing the capability of asphalt in maintaining cohesion and adhesion of aggregate.

From analysis to data result from research in laboratory got mixture with spent catalyst filler yield analysis of Marshall optimum at mixture with dust proportion 0,9 and 1,25 but at mixture with conventional ash stone happened at mixture with dust proportion 1,25 only. Requirement of rate of dust proportion more highly because of mixture using HRS-WC that having characteristic of different gradation so that requirement to high asphalt and also affect to requirement of high filler too. So that need to continuation research if mixture type of asphalt concrete for example asphalt concrete wearing coarse (AC-WC).

Key Word : HRS-WC, Refusal Density, Durability Index, dust proportion, spent catalyst RCC

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii

### I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Manfaat Penelitian .....	3
1.4. Lingkup Penelitian .....	4
1.5. Hipotesa .....	5
1.6. Sistematika Penulisan .....	5

### II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum .....	7
2.2. Agregat .....	7
2.2.1. Agregat Kasar .....	9
2.2.2. Agregat Halus .....	10
2.3. Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ) .....	10
2.4. Aspal .....	12
2.5. Perencanaan Campuran <i>Hot Rolled Sheet</i> .....	14
2.5.1. Stabilitas .....	14
2.5.2. Fleksibilitas .....	14
2.5.3. Kekesatan .....	14
2.5.4. Workabilitas .....	15
2.6. Pengujian Campuran Beraspal .....	19

2.6.1 Marshall Test .....	19
2.6.2 Durabilitas.....	19
2.6.3 Dust Proportion.....	21
2.7 Penelitian terdahulu yang relevan.....	21

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Umum .....	25
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian .....	27
3.2.1. Bahan Penelitian .....	27
3.2.2. Peralatan Penelitian.....	27
3.3. Pengujian dan Persyaratan Bahan .....	28
3.3.1 Agregat .....	28
3.3.2 Aspal.....	28
3.3.3 Bahan Pengisi (filler).....	29
3.4. Perencanaan Campuran HRS-WC .....	29
3.4.1 Prosedur Perhitungan Kadar Aspal Rencana .....	31
3.4.2 Pengujian analisa campuran aspal panas .....	31
3.4.3 Perencanaan jumlah benda uji .....	36
3.5. Pengujian Marshall .....	37

### **IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Pengujian Material .....	40
4.1.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat .....	40
4.1.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal.....	41
4.1.3 Hasil Pengujian Marshall dan Indek Stabilitas Sisa (IRS) Tahap I .....	41
4.1.4 Hasil Pengujian Marshall (2x75) tumbukan dan (2x400) tumbukan, serta Uji Perendaman Standar dan Modifikasi pada KAO.....	46
4.2 Pembahasan.....	52
4.2.1 Karakteristik Campuran HRS-WC .....	52
4.2.2 Evaluasi Hasil Laboratorium terhadap Karakteristik Campuran HRS-WC Tahap I terhadap Spesifikasi .....	64
4.2.3 Karakteristik Marshall Tahap II pada kondisi standar dan	



kondisi Refusal Density terhadap lama perendaman.....	65
4.2.4 Evaluasi hasil laboratorium uji Marshall, IRS dan Perendaman	
Modifikasi Tahap II terhadap variasi Dust Proportion dan	
Pengaruh Lama Perendaman .....	101

## **V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	110
5.2 Saran .....	114

## **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

#### **1. Lampiran A**

- Tabel Kalibrasi Marshall
- Koreksi Volume Benda Uji

#### **2. Lampiran B**

- Pemeriksaan Agregat

#### **3. Lampiran C**

- Pemeriksaan Aspal

#### **4. Lampiran D**

- Resep Campuran untuk berbagai jenis filler

#### **5. Lampiran E**

- Hasil Marshall pada Kadar Aspal Rencana

#### **6. Lampiran F**

- Resep Campuran dengan Kadar Aspal Optimum

#### **7. Lampiran G**

- Hasil Marshall dengan Kadar Aspal Optimum

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengujian dan persyaratan untuk agregat dan filler.....	9
Tabel 2.2 Penetrasi aspal untuk berbagai kondisi iklim .....	13
Tabel 2.3 Pengujian dan persyaratan untuk aspal penetrasi 60/70 .....	13
Tabel 2.4 Ketentuan sifat-sifat campuran .....	17
Tabel 2.5 Gradasi Agregat Untuk campuran aspal .....	18
Tabel 2.6 Contoh batas-batas “Bahan bergradasi senjang” .....	18
Tabel 2.7 Sifat-sifat teknis campuran .....	22
Tabel 2.8 Sifat-sifat campuran beraspal panas .....	24
Tabel 3.1a Target Gradasi dengan ukuran Maksimum 19 mm.....	30
Tabel 3.1 Perhitungan kebutuhan benda uji.....	36
Tabel 3.2 Perhitungan kebutuhan benda uji.....	36
Tabel 3.3 Perhitungan kebutuhan benda uji.....	37
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat .....	40
Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen. 60/70. Ex Pertamina .....	41
Tabel 4.3. Hasil Test Marshall Campuran HRS-WC dengan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan untuk filler spent catalyst RCC.....	42
Tabel 4.4. Hasil Test <i>Marshall</i> Campuran <i>HRS-WC</i> dengan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan untuk <i>filler</i> konvensional .....	43
Tabel 4.5 Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	44
Tabel a Gradasi Agregat Setelah Ekstraksi campuran dengan filler spent catalyst .....	45
Tabel b Gradasi Agregat Setelah Ekstraksi campuran dengan filler Abu Batu .....	45
Tabel 4.6. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) dengan lama perendaman 0,5 jam (standard).....	46
Tabel 4.7. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standard (2 x 75)	

dengan lama perendaman 24 jam.....	46
Tabel 4.8. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) dengan lama perendaman 48 jam.....	47
Tabel 4.9. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) dengan lama perendaman 72 jam.....	47
Tabel 4.10. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan lama perendaman 0,5 jam .....	47
Tabel 4.11. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan lama perendaman 24 jam .....	48
Tabel 4.12. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan lama perendaman 48 jam .....	48
Tabel 4.13. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan lama perendaman 72 jam .....	48
Tabel 4.14. Hasil Pengujian Stabilitas dan IRS pada Perendaman standard Tahap II terhadap variasi Dust Proportion untuk masing-masing jenis filler pada kondisi standard (2 x 75) tumbukan.....	49
Tabel 4.15. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama dan Kedua pada kondisi standard (2x75) tumbukan menggunakan <i>filler spent catalyst</i> RCC .....	49
Tabel 4.16. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama dan Kedua pada kondisi standard (2x75) tumbukan menggunakan <i>filler</i> Abu Batu Konvensional....	50
Tabel 4.17. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama dan Kedua pada kondisi <i>RefusalDensity</i> (2 x 400) tumbukan menggunakan <i>filler spent catalyst</i> RCC.....	50
Tabel 4.18. Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada kondisi <i>Refusal density</i> (2 x 400) tumbukan menggunakan <i>filler spent catalyst</i> RCC.....	51
Tabel 4.19. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama dan Kedua pada kondisi <i>Refusal density</i> (2 x 400) tumbukan menggunakan <i>filler</i> Abu Batu	

Konvensional.....	51
Tabel 4.20. Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Density Campuran HRS- WC dengan <i>Filler Spent Catalyst</i> dan Abu Batu .....	52
Tabel 4.21 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai VMA Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu .....	54
Tabel 4.22 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai VFA Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu .....	55
Tabel 4.23. Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai VIM Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu .....	57
Tabel 4.24. Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas Campuran HRS- WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu.....	59
Tabel 4.25. Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Flow Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu .....	60
Tabel 4.26. Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai MQ Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu .....	61
Tabel 4.27. Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai IRS Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu .....	63
Tabel 4.28. Pengaruh <i>Dust Proportion</i> terhadap nilai <i>density</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75).....	65
Tabel 4.29. Pengaruh <i>Dust Proportion</i> terhadap nilai <i>density</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi Refusal Density (2x400) .....	67
Tabel 4.30 Perbandingan nilai <i>density</i> menurut besarnya <i>dust proportion</i> untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal <i>density</i> (2x400) dengan variasi lama perendaman .....	69
Tabel 4.31. Pengaruh <i>Dust Proportion</i> terhadap nilai <i>VMA</i> dengan variasi lama	

	perendaman pada kondisi standar (2x75) .....	70
Tabel 4.32.	Pengaruh <i>Dust Proportion</i> terhadap nilai <i>VMA</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400). ....	72
Tabel 4.33	Perbandingan nilai <i>VMA</i> menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman .....	73
Tabel 4.34.	Pengaruh <i>Dust Proportion</i> terhadap nilai <i>VFA</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi standar (2x75).....	75
Tabel 4.35.	Pengaruh <i>Dust Proportion</i> terhadap nilai <i>VFA</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400). ....	76
Tabel 4.36	Perbandingan nilai <i>VFA</i> menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman .....	78
Tabel 4.37.	Pengaruh <i>Dust Proportion</i> terhadap nilai <i>VIM</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi standar (2x75).....	79
Tabel 4.38.	Pengaruh <i>Dust Proportion</i> terhadap nilai <i>VIM</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400). ....	81
Tabel 4.39	Perbandingan nilai <i>VIM</i> menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman .....	83
Tabel 4.40.	Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi standar (2x75).....	84
Tabel 4.41	Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400).....	86
Tabel 4.42	Perbandingan nilai Stabilitas menurut besarnya dust proportion untuk	

	tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman .....	88
Tabel 4.43	Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) .....	89
Tabel 4.44	Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	91
Tabel 4.45	Perbandingan nilai Flow menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman .....	92
Tabel 4.46	Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai <i>MQ</i> pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) .....	93
Tabel 4.47	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai Marshall Quotient (MQ) pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	95
Tabel 4.48	Perbandingan nilai MQ menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman .....	96
Tabel 4.49	Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai IRS pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) .....	97
Tabel 4.50	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai IRS pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400).....	99
Tabel 4.51	Perbandingan nilai IRS menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman .....	100
Tabel 4.44.	Pengaruh <i>filler Spent Catalyst</i> pada variasi <i>Dust Proportion</i> 0,55 terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi	

	pada kondisi standard (2x75) dan <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	101
Tabel 4.45.	Pengaruh <i>filler Spent Catalyst</i> pada variasi <i>Dust Proportion</i> 0,90 terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	102
Tabel 4.46.	Pengaruh <i>filler Spent Catalyst</i> pada variasi <i>Dust Proportion</i> 1,25 terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	102
Tabel 4.47.	Pengaruh <i>filler</i> Abu Batu Konvensional pada variasi <i>Dust Proportion</i> 0,55 terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	104
Tabel 4.48.	Pengaruh <i>filler</i> Abu Batu Konvensional pada variasi <i>Dust Proportion</i> 0,90 terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	104
Tabel 4.49.	Pengaruh <i>filler</i> Abu Batu Konvensional pada variasi <i>Dust Proportion</i> 1,25 terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	105

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Target Agregat Campuran HRS-WC .....	30
Gambar 3.3. Skema Kurva Keawetan.....	34
Gambar 4.1 Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran HRS-WC dengan <i>filler spent catalyst</i> RCC .....	43
Gambar 4.2 Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran HRS-WC dengan <i>filler</i> konvensional .....	44
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs <i>Density</i> .....	52
Gambar 4.4. Grafik hubungan Kadar Aspal vs <i>VMA</i> .....	54
Gambar 4.5. Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs <i>VFA</i> .....	56
Gambar 4.6. Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs <i>VIM</i> .....	57
Gambar 4.7. Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs Stabilitas .....	59
Gambar 4.8. Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs Flow.....	60
Gambar 4.9. Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs <i>Marshall Quotient</i> .....	62
Gambar 4.10. Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs IRS.....	63
Gambar 4.11. Pengaruh <i>Dust Proportion filler spent catalyst</i> RCC terhadap nilai <i>density</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) ...	65
Gambar 4.12. Pengaruh <i>Dust Proportion Abu Batu Konvensional</i> terhadap nilai <i>density</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) ...	66
Gambar 4.13. Pengaruh <i>Dust Proportion Spent Catalyst</i> RCC terhadap nilai <i>density</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) ..	67
Gambar 4.14. Pengaruh <i>Dust Proportion Abu Batu Konvensional</i> terhadap nilai <i>density</i> dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i>	



(2x400) .....	68
Gambar 4.15. Pengaruh <i>Dust Proportion filler spent catalyst</i> RCC terhadap nilai VMA dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) .....	70
Gambar 4.16. Pengaruh <i>Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional</i> terhadap nilai VMA dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) .....	71
Gambar 4.17. Pengaruh <i>Dust Proportion filler spent catalyst</i> RCC terhadap nilai VMA dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	72
Gambar 4.18. Pengaruh <i>Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional</i> terhadap nilai VMA dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	73
Gambar 4.19. Pengaruh <i>Dust Proportion filler spent catalyst</i> RCC terhadap nilai VFA dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) .....	75
Gambar 4.20. Pengaruh <i>Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional</i> terhadap nilai VFA dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) .....	75
Gambar 4.21. Pengaruh <i>Dust Proportion filler spent catalyst</i> RCC terhadap nilai VFA dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	77
Gambar 4.22. Pengaruh <i>Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional</i> terhadap nilai VFA dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	77
Gambar 4.24. Pengaruh <i>Dust Proportion filler spent catalyst</i> RCC terhadap nilai VIM dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) .....	82
Gambar 4.25. Pengaruh <i>Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional</i> terhadap nilai	

VIM dengan variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400).....	882
Gambar 4.26. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan <i>filler spent catalyst</i> RCC .....	84
Gambar 4.27. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan <i>filler</i> <i>abu batu konvensional</i> .....	85
Gambar 4.28. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan <i>filler spent catalyst</i> RCC .....	86
Gambar 4.29. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan <i>filler</i> konvensional .....	87
Gambar 4.30. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan <i>filler spent catalyst</i> RCC .....	89
Gambar 4.31. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan <i>filler abu batu konvensional</i> .....	90
Gambar 4.32. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan <i>filler spent catalyst</i> RCC .....	91
Gambar 4.33. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400)	

dengan <i>filler</i> konvensional .....	91
Gambar 4.34. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai <i>MQ</i> pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan <i>filler spent catalyst</i> RCC.....	93
Gambar 4.35. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai <i>MQ</i> pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan <i>filler abu batu konvensional</i> .....	94
Gambar 4.36. Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai <i>MQ</i> pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan filler spent catalyst RCC .....	95
Gambar 4.37. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai <i>MQ</i> pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan <i>filler</i> konvensional .....	96
Gambar 4.38. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai <i>IRS</i> pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan <i>filler spent catalyst</i> RCC .....	98
Gambar 4.40. Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai <i>IRS</i> pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan filler spent catalyst RCC.....	99
Gambar 4.41. Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai <i>IRS</i> pada variasi lama perendaman pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2x400) dengan <i>filler</i> konvensional .....	100
Gambar 4.42 Hubungan Pengaruh <i>filler Spent Catalyst</i> pada variasi <i>Dust Proportion</i> terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan <i>Refusal Density</i> (2x400).....	103

Gambar 4.43 Hubungan Pengaruh *filler Abu Batu Konvensional* pada variasi *Dust*

*Proportion* terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman

Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400)....106

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Proyek-proyek pembangunan, peningkatan dan pemeliharaan jalan di Indonesia pada umumnya menggunakan lapisan permukaan konvensional berupa lapis tipis aspal beton (Laston) atau *Hot Rolled Sheet* (HRS) dan lapis aspal beton (Laston) atau *Asphalt Concrete* (AC). Tetapi kinerja dari lapisan permukaan ini tidak terlalu memuaskan dan kerusakan dini sering terjadi. Kerusakan tersebut terlihat berupa terjadinya gelombang (*corrugation*) dan retak-retak (*cracks*).

*Hot Rolled Sheet* (HRS) adalah salah satu campuran aspal dengan agregat seperti halnya campuran aspal beton pada umumnya, namun mempunyai kelebihan khusus yaitu sifat elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal lainnya. Dalam campuran aspal beton (AC), kekuatan atau stabilitasnya tergantung pada saling kunci antara susunan agregat (*interlocking*), namun pada campuran HRS, stabilitasnya tergantung pada kekuatan campuran mortar yang ada, yaitu merupakan campuran antara agregat sedang / halus, *filler* dan aspal. HRS merupakan suatu campuran yang lebih banyak mengandung material halus, dimana akan diperlukan suatu kadar aspal yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal lain.

Campuran beton aspal merupakan salah satu bahan perkerasan jalan, dimana agregat mempunyai proporsi yang besar, mencapai hampir 95 persen dari total berat campuran. Bahan baku campuran beton aspal yang terdiri dari agregat (kasar dan halus), aspal, dan bahan pengisi (*filler*) bila diperlukan, sebelum dicampur harus melalui serangkaian pengujian laboratorium untuk mengetahui tingkat kelayakan sebagai bahan campuran beton aspal dan demikian juga halnya setelah menjadi campuran.

Pada campuran perkerasan HRS konvensional, biasanya menggunakan agregat kasar, agregat halus pasir dan *filler* dari semen atau abu batu. Karena adanya keterbatasan sumber daya alam untuk wilayah tertentu maka perlu diadakan penelitian untuk mendapatkan material alternatif sebagai pengganti material konvensional yang sudah biasa digunakan. Maka perlu kiranya dilakukan penelitian-penelitian yang inovatif sehingga dapat ditemukan material non konvensional yang

akhirnya bisa menjadi material yang bisa digunakan. Proses pemanfaatan tersebut dapat dilakukan dengan cara perolehan kembali (*recovery*), pemanfaatan kembali (*reuse*) dan bisa bersifat daur ulang (*recycle*).

*Spent catalyst* (katalis bekas) merupakan limbah dari *Residue Catalytic Cracking* (RCC) UP VI PERTAMINA Balongan Indramayu yang sampai sekarang belum ada pemanfaatan dari limbah tersebut. Sehingga limbah tersebut hanya dibuang/ disingkirkan yang notabene membutuhkan biaya yang tinggi, karena adanya biaya transportasi yang harus ditanggung oleh pihak Pertamina.

Pihak UP VI Pertamina Balongan pernah bekerjasama dengan Lembaga Penelitian UNPAD, Teknik Sipil Politeknik ITB, Teknik Lingkungan ITB, Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan dan Puslitbang Pemukiman DEPKIMBANGWIL untuk melakukan penelitian pemanfaatan *spent catalyst* RCC sebagai *filler* beton aspal campuran panas *Asphalt Concrete* (AC). Dari hasil penelitian tersebut dihasilkan kesimpulan bahwa katalis bekas RCC limbah dari UP VI PERTAMINA Balongan tersebut bisa dipakai sebagai *filler* untuk beton aspal campuran panas dengan kandungan *filler* 2% dan 5% dari total berat campuran.

Dari hasil penelitian tersebut diatas, penulis berkeinginan untuk melakukan penelitian tentang penggunaan *Spent catalyst* RCC sebagai *filler* dengan mencari nilai *dust proportion*/ DP (perbandingan kadar *filler* dengan perbandingan kadar aspal) yang optimal sehingga akan didapatkan campuran aspal panas dengan stabilitas sesuai dengan spesifikasi terhadap karakteristik *Marshall* dan durabilitas pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC) dengan kepadatan mutlak/ *Percentage Refusal Density* (PRD).

## **1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud untuk mengetahui / mendapatkan beberapa hal, antara lain :

- a. Mengetahui perilaku campuran beraspal panas dengan *dust proportion* dari *filler* katalis bekas RCC asal limbah UP VI PERTAMINA Balongan yang dibandingkan dengan *dust proportion* dari *filler* abu batu kali (konvensional) dengan kadar rendah (0,55); sedang (0,9) dan tinggi (1,25).

- b. Memberi gambaran sejauh mana pengaruh *dust proportion* dengan kadar rendah, sedang dan tinggi terhadap kekuatan (*stability*) dan keawetan (*durability*) standar ataupun modifikasi pada campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC) dengan kepadatan mutlak.
- c. Untuk mengetahui apakah katalis bekas RCC limbah dari UP VI PERTAMINA Balongan bisa digunakan sebagai *filler* dengan *dust proportion* yang telah ditentukan dengan kadar rendah , sedang dan tinggi pada campuran HRS-WC.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Meneliti korelasi *dust proportion* katalis bekas RCC UP VI PERTAMINA Balongan terhadap sifat *Marshall* dan durabilitas dari perkerasan HRS-WC pada beberapa variasi kadar *filler*-nya (kadar rendah, sedang, dan tinggi) dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 dari Pertamina.
- b. Mendapatkan spesifikasi baru tentang kandungan kadar *filler* (*dust proportion*) katalis bekas RCC limbah dari UP VI PERTAMINA Balongan pada campuran HRS-WC, sehingga diharapkan dapat bermanfaat untuk perkembangan teknik perkerasan, sehingga akan tercapai *recycle*, *recovery* dan *reuse* yang memenuhi persyaratan terhadap spesifikasi yang berlaku.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pemanfaatan limbah katalis bekas RCC hasil buangan dari UP VI PERTAMINA Balongan Indramayu.
2. Mendapatkan spesifikasi *dust proportion* baru untuk penggunaan *filler* katalis bekas RCC hasil limbah dari UP VI PERTAMINA Balongan sebagai *filler* pengganti pada campuran beton aspal yang biasa digunakan (konvensional).
3. Meningkatkan nilai tambah dan nilai guna dari katalis bekas RCC UP VI PERTAMINA Balongan.
4. Hasil penelitian yang dilakukan, diharapkan dapat memberikan sumbangan yang bermanfaat bagi kalangan teknisi yang bergerak dalam bidang perkerasan jalan, untuk menggunakan katalis bekas RCC UP VI

PERTAMINA Balongan sebagai *filler* pada campuran HRS-WC dengan nilai *dust proportion* dari hasil penelitian yang menggunakan aspal AC penetrasi 60/70, dalam meningkatkan mutu suatu struktur perkerasan jalan.

#### 1.4 Lingkup Penelitian

Penelitian ini perlu dibatasi agar dapat dilakukan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Adapun lingkup penelitian ini terbatas pada :

1. Perencanaan campuran menggunakan perencanaan campuran untuk lapis permukaan HRS-WC dengan gradasi senjang yang mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Agustus 2001.
2. Agregat (kasar dan halus) dari Singorejo Gunungpati yang diambil dari AMP PT. Mohandas Sarana di Gunungpati Semarang.
3. Aspal keras yang digunakan adalah AC penetrasi 60/70 dari Pertamina
4. *Filler* yang digunakan adalah katalis bekas RCC limbah dari UP VI PERTAMINA Balongan Indramayu sebagai *filler* standar dan abu batu konvensional yang diambil dari AMP PT. Mohandas Sarana di Gunungpati Semarang sebagai *filler* pembanding.
5. *Dust proportion*/ DP yang dipakai sebagai acuan adalah kadar rendah (0,55); kadar sedang (0,9) dan kadar tinggi (1,25) masing-masing untuk *filler spent catalyst* RCC dan *filler* abu batu konvensional.
6. Penggunaan *filler spent catalyst* dicampurkan pada agregat.
7. Gradasi yang digunakan adalah gradasi laboratorium.
8. Uji yang dilakukan adalah *Marshall Test* dan Uji *Marshall Immersion Test*.
9. Lama perendaman untuk pengujian durabilitas modifikasi adalah 0,5 jam, 24 jam, 48 jam dan 72 jam.
10. Standar uji yang dilakukan untuk pengujian bahan menggunakan prosedur SNI. Jika prosedur pengujian tidak terdapat pada SNI, digunakan prosedur – prosedur lain seperti AASHTO, ASTM dan BSI.
11. Perilaku yang dipelajari adalah *Stability*, *Flow*, *Density*, VIM (*Void In the Mix*), VFA (*Void Fill with Asphalt*), VMA (*Void Mix Aggregate*), *Index of Retained Strength* (IRS) dan *Marshall Quotient* dari benda uji.
12. Penelitian ini tidak membahas unsur mineral dan kimiawi yang terkandung dalam *spent catalyst* RCC limbah dari UP VI PERTAMINA Balongan.



## 1.5 Hipotesa

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Pihak UP VI Pertamina Balongan bekerjasama dengan Lembaga Penelitian UNPAD, Teknik Sipil Politeknik ITB, Teknik Lingkungan ITB, Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan dan Puslitbang Pemukiman DEPKIMBANGWIL merekomendasikan bahwa *filler spent catalyst* bisa digunakan sebagai *filler* untuk perkerasan campuran panas *Asphalt Concrete* (AC) dengan kadar *filler* 2 % dan 5%. Oleh karena itu hipotesis dari penelitian ini, diharapkan, bahwa penggunaan *filler* bekas katalis RCC UP VI Pertamina pada campuran aspal panas *Hot Rolled Sheet* (HRS) akan meningkatkan kualitas campuran yang lebih baik, yang memenuhi syarat-syarat sifat *Marshall* seperti densitas, stabilitas, *flow*, VIM (*Void In the Mix*), VFA (*Void Fill with Asphalt*), VMA (*Void Mix Aggregate*) dan *Marshall Quotient*. Sehingga akan didapatkan material alternatif dengan nilai *dust proportion* yang optimal sebagai pengganti material konvensional yang mulai langka pada daerah-daerah tertentu, disamping itu untuk meningkatkan nilai tambah dan nilai guna dari limbah Pertamina tersebut.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sesuai dengan petunjuk mengenai penyusunan tesis, maka penulisan tesis yang akan dilakukan terdiri dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, analisa dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

a. Bab I : Pendahuluan

Merupakan awal dari penyusunan tesis, dalam bab ini dikemukakan arah judul tesis. Bab ini berisi permasalahan yang hendak dibahas, termasuk latar belakang, dan tujuan.

b. Bab II : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi mengenai teori-teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan dari penelitian, serta syarat-syarat untuk melaksanakan penelitian. Dalam bab ini hasil tinjauan pustaka dikemukakan secara sistematis dan kronologis.

c. Bab III : Metodologi Penelitian

Dalam bab ini dituliskan mengenai tahapan dan cara penelitian serta uraian mengenai pelaksanaan penelitian. Bab ini berisi uraian tentang data dan

metode yang akan digunakan dalam penelitian maupun penyelidikan serta hipotesa yang diajukan dan ingin diuji.

d. Bab IV : Analisa Data dan Pembahasan

Bab ini berisi hasil-hasil penelitian dan juga berisi tentang analisa dari hasil penelitian tersebut serta pembahasannya. Hasil ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, tabel dengan keterangan atau judul yang jelas. Hasil yang ditulis dalam kesimpulan harus terlebih dahulu muncul dalam bagian pembahasan ini. Bab ini merupakan bagian yang sangat penting dari keseluruhan penelitian.

e. Bab V : Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan – kesimpulan terutama setelah dilakukan analisa dan pembahasan. Kesimpulan dinyatakan secara khusus dan menjawab semua permasalahan yang diteliti atau diamati. Kesimpulan merupakan rangkuman hasil-hasil yang berasal dari bab pembahasan secara rinci. Kemudian dalam bab ini juga berisi mengenai saran atau rekomendasi yang didasarkan pada hasil penelitian dan penilaian menurut pendapat serta pemikiran peneliti.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Dalam beberapa tahun terakhir ini, *Hot Rolled Sheet* telah digunakan secara luas di Indonesia sebagai lapisan permukaan, karena sifatnya yang kedap air dan tahan lama. Sifat-sifat yang penting dari *Hot Rolled Sheet* adalah agregatnya bergradasi senjang dan mengandung sangat sedikit agregat yang berukuran sedang. Sebagai sebuah konsekuensi campuran tersebut dapat menyerap aspal yang relatif tinggi dan sifat-sifat khasnya *Hot Rolled Sheet* ini sebagian besar dapat memberikan suatu permukaan yang sanggup menerima beban berat tanpa retak.

Kemampuan perkerasan fleksibel, dalam hal ini perkerasan *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC) untuk menahan kerusakan yang terjadi adalah sangat tergantung pada kekuatan campuran mortar yang ada, merupakan campuran antara agregat sedang / halus, *filler* dan aspal. Oleh karena itu diperlukan komponen penyusunnya yang telah teruji untuk mendapatkan perkerasan fleksibel yang bisa memberikan *performance* dan kekuatan serta durabilitas yang tinggi. Sehingga berbagai kerusakan yang mungkin timbul seperti yang diuraikan pada latar belakang bisa diminimise atau bahkan bisa dihindari. Sehingga akan didapatkan suatu perkerasan yang benar-benar *durable* untuk jangka waktu umur rencana (*Ur*) suatu perkerasan jalan.

#### **2.2 Agregat**

Agregat dapat diartikan sebagai suatu kumpulan butiran batuan yang berukuran tertentu yang diperoleh dari proses agregasi batuan berukuran besar, dapat berupa butiran atau pecahan termasuk didalamnya antara lain; pasir, kerikil, batu pecah, terak dapur tinggi, dan abu batu.

Agregat merupakan bahan pengisi dominan dalam suatu campuran aspal. Prosentase agregat dalam suatu campuran berkisar antara 75 – 85 % dari volume total atau 90 – 95 % dari berat total (*S Sukirman, 1995*). Oleh karena itu agregat sebagai penyusun lapisan HRS *wearing course* atau lapisan permukaan, mutu dan kualitas agregat yang akan digunakan harus lebih baik dari pada lapisan perkerasan

dibawahnya. Hal ini disebabkan lapisan permukaan (*wearing course*) menerima repitisi beban secara langsung sebagai akibat beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan serta menerima beban lebih besar jika dibandingkan dengan lapisan dibawahnya, oleh karena itu suatu pengujian awal terhadap material yang akan digunakan sangat penting perannya dalam perencanaan konstruksi perkerasan jalan.

Menurut sumbernya atau cara mempersiapkannya, agregat dibagi atas 3 (tiga) jenis, yaitu :

a. Agregat Alam (*Natural Aggretag*)

Agregat jenis ini, biasa diperoleh langsung di alam dan dapat langsung digunakan sebagai bahan lapis perkerasan jalan. Jenis agregat alam yang biasa digunakan misalnya kerikil (*gravel*) dan pasir kali atau pasir besi (*sand*).

b. Agregat hasil pengolahan (*Manufactured Aggregate*)

Agregat jenis ini merupakan hasil pengolahan dengan mesin pemecah batu (*stone crusher*). Diharapkan dari hasil pengolahan ini, ukuran agregat yang dihasilkan sesuai dengan gradasi yang diinginkan, serta mempunyai tekstur yang kasar dengan bentuk agregat bersudut (*angular*)

c. Agregat buatan (*Synthetic Aggregate*)

Agregat buatan merupakan agregat hasil rekayasa yang dibuat khusus untuk tujuan tertentu.

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi yaitu ukuran, gradasi, kekuatan, kekerasan, bentuk tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia (*Kerbs and Walker, 1971*).

Jenis pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler* tercantum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler*

No	Pengujian	Metode	Syarat
Agregat kasar			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$
2	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5$
3	Keausan / Los Angeles <i>abration test</i>	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$
4	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	$\geq 95\%$
5	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D-4791	Maks 10%
Agregat halus			
1	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$
2	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5$
3	Ekivalen pasir	AASHTO T-176	$\geq 50\%$
<i>Filler</i>			
1	Berat jenis	SNI 15-2351-199	$\geq 1 \text{ gr/cc}$

### 2.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar didefinisikan sebagai material yang pada prinsipnya tertahan pada saringan 2.36 mm, yang setara dengan saringan No. 8 menurut Standart ASTM atau saringan No. 7 menurut *Standart British*. Agregat kasar dapat pula berupa kerikil sebagai hasil desintregasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan ukuran besar butir lebih dari 5 mm.

Fungsi agregat kasar adalah sebagai bahan pengisi dalam campuran HRS, sehingga campuran tersebut menjadi lebih ekonomis (*Shell, 1990*). Kontribusi agregat kasar terhadap kekuatan campuran jenis HRS adalah kecil. Peningkatan agregat kasar secara teoritis juga akan mengurangi kekuatan campuran, karena proporsi mortar yang menjadi tumpuan kekuatan bagi campuran tersebut berkurang dengan bertambahnya agregat kasar.

### 2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir, batu pecah atau kombinasi dari keduanya, dapat pula berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu, dan agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam, keras dan kekal terhadap pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.

Agregat halus adalah material yang pada prinsipnya lolos saringan 2.36 mm dan tertahan pada saringan 75 $\mu$ m atau saringan No. 200. Fungsi utama dari agregat halus adalah untuk mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan dan gosokan dari partikel (*Hartom, 1985*). Berkenaan dengan hal ini, sifat-sifat khas yang diperlukan dari agregat adalah sudut permukaan dan kekasaran permukaan.

## 2.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi adalah material yang lolos saringan berukuran No. 200 dan berfungsi memodifikasi gradasi agregat halus sehingga kepadatan campuran meningkat dan jumlah aspal yang dibutuhkan untuk mengisi rongga berkurang. Disamping itu bahan pengisi dan aspal bersama-sama membentuk suatu pasta yang mengikat pasir untuk membentuk mortar (*Brien, 1978*).

Jumlah dan tipe bahan pengisi yang digunakan pada suatu campuran sangat mempengaruhi kualitas campuran, suatu jumlah yang pasti dari bahan yang dibutuhkan campuran beraspal untuk memenuhi kepadatan dan kekuatan perkerasan. Perencanaan campuran dengan kadar bahan pengisi yang lebih tinggi menghasilkan stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan kadar bahan pengisi yang lebih rendah (*Brown, Et.al, 1989*).

Partikel bahan pengisi mengisi rongga antara partikel agregat sehingga meningkatkan kepadatan dan kekuatan campuran (*Rao dan Sen, 1973*). Meskipun bahan pengisi meningkatkan stabilitas campuran namun kadar penggunaan perlu dibatasi, sebab kadar bahan pengisi yang terlalu tinggi akan menghasilkan campuran yang getas (*brittle*) dan mudah retak pada saat menerima beban lalu lintas, di lain pihak jika kadar bahan pengisi terlalu rendah akan menghasilkan campuran yang lembek pada saat cuaca panas.

Fungsi lain dari bahan pengisi (*filler*) adalah untuk meningkatkan viskositas aspal dan untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur. Bahan pengisi (*filler*) juga efektif dalam mereduksi sifat kepekaan campuran terhadap perubahan suhu. Disamping itu, *filler* berpengaruh terhadap kebutuhan kadar aspal. Dengan penambahan kadar *filler* campuran perkerasan akan menjadi kering karena *filler* menyerap banyak aspal, sebaliknya dengan pengurangan kadar *filler* campuran akan menjadi basah. Karenanya, keterkaitan antara *filler* dan kadar aspal yang biasa disebut *dust proportion* (DP) sangat dominan pengaruhnya dalam penentuan stabilitas dan durabilitas pada campuran aspal.

Dalam penelitian ini, digunakan *filler* katalis bekas RCC hasil limbah dari UP VI Pertamina Balongan Indramayu. Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh lembaga penelitian Unpad bekerjasama dengan pihak Pertamina terhadap aspek fisik dan kimia adalah :

a. Uji Fisik

Uji berat jenis menunjukkan bahwa *spent catalyst* memiliki berat jenis yang mendekati pasir alam. Hasil *X-Ray Diffraction* menunjukkan bahwa *spent catalyst* terdiri dari zeolit X atau Y yang strukturnya sama dengan mineral alam yaitu *Faujasite* ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), sedangkan *fresh catalyst* terdiri dari zeolit X atau Y dan Kaoline ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ).

b. Uji Kimia

Uji yang dilakukan adalah penentuan pH dan KTK (Kapasitas Tukar Kation), hasilnya menunjukkan bahwa pH *spent catalyst* dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  0,1N adalah 3,96 – 4,31 pada aquades adalah 4,55 – 4,80.

Dalam penggunaan katalis dalam contoh beton aspal filler 5 % dalam keadaan homogen, maka kadar nikel dalam ekstrak TCLP beton aspal diperkirakan 5% dikalikan 4,51 mg/l yaitu 0,23 mg/l. Yang menunjukkan hasil adanya mekanisme mobilisasi nikel dari katalis oleh aspal yang diperkirakan berasal dari tertutupnya mikro pori-pori dalam katalis dan terjadinya pembungkusan butiran katalis oleh aspal yang bersifat impermeabel, yang diperkuat dengan nilai pH setelah proses solidifikasi stabilitas (S/S) adalah bersifat basa dengan pH 11,01 pada  $\text{CaCl}_2$  dan 11,61 pada  $\text{H}_2\text{O}$ .

Dari hasil tes TCLP juga menunjukkan bahwa spent catalyst mengandung logam akan tetapi tidak melampaui baku mutu, baik baku mutu TCLP untuk *landfill* Kep. No. 03/Baped/09/1995 maupun baku mutu TCLP menurut RCRA (*Resource Conservation and Recovery Act*) untuk TC (*Toxicity Characteristic*).

Dari hasil penelitian tersebut diatas maka tidak ada keraguan untuk meneliti *spent catalyst* yang notabene merupakan limbah yang harus dimanfaatkan.

## 2.4 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat yang secara esensial terdiri dari senyawa hidrokarbon atau turunannya, yang terlarut dalam *trichloroethylene*, tidak mudah menguap dan lunak secara bertahap ketika dipanaskan, memiliki warna hitam atau kecoklatan, anti terhadap air dan bersifat *adhesive* (*British Standart 3690, 1982*).

Aspal diperoleh melalui proses destilasi dari minyak mentah dan biasa ditemukan dalam bentuk deposit alami atau dalam suatu komponen alami yang menyimpan aspal dan tercampur dengan mineral lainnya (*British Standart 3690, 1982*). Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran aspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks seperti *Asphaltense*, *Resins* dan *Oils* (*Hunter RN, 1994*).

Meskipun aspal hanya merupakan bagian kecil dari komponen campuran beraspal, namun merupakan bagian krusial untuk menyediakan ikatan yang *durable* (awet/tahan lama) dan menjaga campuran tetap dalam kondisi kental yang elastis. Adapun beberapa kualitas harus dimiliki oleh aspal untuk menjamin performa yang memuaskan, secara mendasar adalah *rheology*, kohesi, Adhesi dan durabilitas. *Krebs* dan *Walker*, 1971 menerangkan dalam pemilihan jenis aspal sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah digunakan untuk daerah yang beriklim panas dalam rangka menghindari *softening* ataupun *bleeding*. Disisi lain, aspal dengan indeks penetrasi yang tinggi dapat digunakan pada daerah beriklim dingin, dalam upaya mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*).



Idiom dengan apa yang diungkapkan *Krebs* dan *Walker*, 1971, *The Asphalt Institute* menekankan agar penggunaan aspal keras pada perkerasan jalan tergantung dari tipe perkerasan dan kondisi iklimnya, seperti yang terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penetrasi aspal untuk berbagai kondisi iklim

Perkerasan	Iklim			
	Panas kering	Panas lembab	Sedang	Dingin
LAPANGAN TERBANG				
RUNWAY	60-70	85-100	85-100	120-150
TAXIWAY	60-70	60-70	85-100	85-100
APRON	60-70	60-70	60-70	85-100
JALAN RAYA (lalu lintas)				
BERAT	60-70	60-70	85-100	85-100
RINGAN	85-100	85-100	85-100	85-100

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut, juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran (*Crauss, J et al*, 1981). Jenis pengujian dan persyaratan untuk aspal seperti yang tercantum dalam Tabel 2.3.

Table 2.3 Pengujian dan persyaratan untuk aspal penetrasi 60/70

No	Pengujian	Metoda	Syarat		Satuan
			Min	Max	
1	Penetrasi (25 <sup>0</sup> C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60	79	0.1 mm
2	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	<sup>0</sup> C
3	Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	200	-	<sup>0</sup> C
4	Kelarutan CCL <sub>4</sub>	ASTM-D2042	99	-	% Berat
5	Daktilitas (25 <sup>0</sup> C, 5 cm/mnt)	SNI 06-2432-1991	100	-	Cm
6	Berat jenis	SNI 06-2488-1991	1	-	

## 2.5 Perencanaan Campuran Hot Rolled Sheet (HRS)

*Asphalt Institute* (1993) menyatakan bahwa secara keseluruhan tujuan perencanaan campuran perkerasan aspal adalah untuk menentukan suatu campuran dengan biaya yang murah dengan gradasi agregat dan aspal yang menghasilkan suatu campuran yang mempunyai sifat-sifat penting yang harus dimiliki, yaitu : stabilitas, fleksibilitas, kekesatan dan workabilitas.

### 2.5.1 Stabilitas

Adalah kemampuan suatu campuran untuk menerima beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas. Sumber stabilitas tergantung dari campuran yang digunakan, untuk gradasi menerus, nilai stabilitas diperoleh dari sifat saling mengunci agregatnya (*interlocking*), sedangkan untuk campuran yang menggunakan gradasi senjang, nilai stabilitas diperoleh dari kekuatan mortar. Kekuatan mortar dapat diperoleh dengan menggunakan aspal yang relatif keras dan mempunyai daya ikat yang baik serta kadar bahan pengisi (*filler*) yang tinggi pada campuran beraspal. Tetapi stabilitas yang tinggi menyebabkan perkerasan terlalu kaku, sehingga dengan adanya repetisi beban lalu lintas akan memudahkan terjadinya keretakan pada permukaan perkerasan jalan.

### 2.5.2 Fleksibilitas

Adalah kemampuan suatu campuran untuk menahan defleksi dan kelenturan tanpa terjadinya retak. Penyebab utama terjadinya defleksi dan kelenturan adalah perubahan jangka panjang pada daya dukung tanah atau lapis pondasi yang menyebabkan terjadinya kelelahan yang bisa menimbulkan retak awal (*initial cracking*) dan retak rangkak (*propagation cracking*) pada perkerasan aspal. Disamping itu penyebab lainnya adalah lendutan berulang yang disebabkan oleh waktu pembebanan lalu lintas yang berlangsung singkat dan perubahan volume campuran akibat perubahan suhu. Fleksibilitas suatu campuran dapat diperoleh dengan cara meningkatkan kadar aspal dalam campuran, menggunakan aspal berpenetrasi tinggi dan menggunakan agregat bergradasi terbuka.

### 2.5.3 Kekesatan

Adalah kemampuan suatu campuran untuk membuat permukaan perkerasan menjadi kesat. Kekesatan berhubungan dengan faktor keamanan berlalu lintas yaitu

tidak sampai terjadi selip pada ban kendaraan baik pada saat basah maupun kering. Faktor yang menyebabkan terjadinya kelicinan pada permukaan jalan adalah perkerasan aspal mengalami kegemukan (*bleeding*) dan keausan (*polishing*) yang dialami oleh agregat. Kegemukan dapat terjadi karena kadar rongga udara yang ada terlalu sedikit, sehingga pada saat proses pemadatan oleh beban lalu lintas pada cuaca panas, aspal menjadi leleh dan keluar menuju permukaan, sehingga permukaan jalan menjadi licin. Keausan agregat dapat terjadi bila agregat yang digunakan pada campuran beraspal kurang keras sehingga mudah mengalami pengikisan pada saat terjadi gesekan dengan ban kendaraan.

#### 2.5.4 Workabilitas

Adalah kemudahan suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga mencapai tingkat kepadatan yang diinginkan. Workabilitas dapat dicapai dengan meminimalkan volume rongga yang terdapat diantara butir-butir rongga agregat dari suatu campuran, sehingga memberikan ruang yang cukup untuk aspal agar dapat melekat pada agregat. Dengan demikian campuran aspal dan agregat menjadi lebih mudah dikerjakan dan dipadatkan yang berarti campuran dapat dimampatkan lebih banyak sehingga volumenya menjadi lebih kecil. Selain itu butiran agregat yang bersudut (*angular*) mempunyai bidang kontak yang lebih luas sehingga pada saat dipadatkan tidak mudah bergerak, demikian juga permukaan agregat yang kasar memperkuat daya cengkeram antara aspal dan agregat sehingga tidak mudah bergeser saat dipadatkan. Kadar aspal yang cukup untuk menyelimuti agregat juga mempermudah pengerjaan penghamparan dan pemadatan.

Sifat-sifat khas yang paling penting dari *Hot Rolled Sheet* adalah bahwa agregatnya bergradasi senjang. Penggunaan gradasi senjang pada campuran ini mengandung beberapa keuntungan dan kerugian. Salah satu kerugiannya adalah penggunaan kadar aspal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran dengan gradasi menerus sehingga biaya produksi menjadi relatif lebih mahal. Kandungan aspal pada campuran dengan gradasi menerus umumnya berkisar 4 -5 % dari volume campuran, namun pada campuran dengan gradasi senjang seperti HRS, kandungan aspalnya lebih banyak yaitu 5-10 % dari volume campuran. Sedangkan beberapa keuntungan dari campuran jenis ini adalah, tahan terhadap keausan, lebih lentur karena fleksibilitasnya yang tinggi, lebih mudah dikerjakan, serta tahan

terhadap pengaruh cuaca. Keuntungan lainnya adalah memberikan lapis aus *Hot Rolled Sheet* yang tahan cuaca dan memberikan permukaan yang awet serta dapat menerima beban berat tanpa retak.

Pada tahun 2001 Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah mengeluarkan Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas. Spesifikasi ini mengikuti trend perkembangan metoda perencanaan campuran beraspal yang berorientasi pada kinerja. Penyempurnaan spesifikasi campuran beraspal, terutama diarahkan untuk mengantisipasi kerusakan berupa deformasi plastis. Walaupun demikian upaya tersebut dilakukan dengan tidak mengorbankan keawetan dan ketahanan campuran terhadap *fatigue*. Salah satu jenis campuran yang dirangkum dalam spesifikasi baru tersebut adalah *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS WC)*. Ketentuan sifat-sifat campuran dan gradasi agregat untuk campuran aspal Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas dapat dilihat Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.4. Ketentuan Sifat-sifat Campuran

SIFAT-SIFAT CAMPURAN				LATASIR	LATASTON		LASTON			
				KELAS A&B	WC	BASE	WC	BC	BASE	
PENYERAPAN KADAR ASPAL			MAX	2,0	1,2 UNTUK LALU LINTAS > 1 JUTA ESA 1,7 UNTUK LALU LINTAS < 1 JUTA ESA					
JUMLAH TUMBUKAN PER BIDANG				50	75				112	
RONGGA DALAM CAMPURAN ( % )	LALU LINTAS (LL) > 1 JUTA ESA	MIN	TIDAK	-	4,9					
		MAX	DIGUNAKAN	-	5,9					
	> 0.5 JUTA ESA & < 1 JUTA ESA	MIN	UNTUK LALU	4,0	3,9					
		MAX	LINTAS BERAT	6,0	4,9					
	LALU LINTAS (LL) < 0.5 JUTA ESA	MIN	3,0			3,0				
		MAX	6,0			5,0				
RONGGA DALAM AGREGAT (VMA) ( % )			MIN	2,0	18	17	15	14	13	
RONGGA TERISI ASPAL ( % )	LALU LINTAS (LL) > 1 JUTA ESA	MIN	TIDAK DIGUNAKAN	65	65	63	60			
	> 0.5 JUTA ESA & < 1 JUTA ESA	MIN	UNTUK LALU LINTAS BERAT	68						
	LALU LINTAS (LL) < 0.5 JUTA ESA	MIN	75					73		
STABILITAS MARSHALL (Kg)		MIN	200	800				800		
		MAX	850	-				-		
KELELEHAN (mm)		MIN	2	2				2		
		MAX	3	-				-		
MARSHALL QUOTIENT (Kg/mm)		MIN	80	200				200		
STABILITAS MARSHALL SISA SETELAH PERENDAMAN SELAMA 24 JAM - 60 C		MIN	85 UNTUK LALU-LINTAS > 1 JUTA ESA 80 UNTUK LALU-LINTAS < 1 JUTA ESA							
PEMADATAN DENGAN KEPADATAN MUTLAK :										
JUMLAH TUMBUKAN MARSHALL 2 X TIAP PERMUKAAN			TIDAK DIGUNAKAN  UNTUK LALU LALU LINTAS  BERAT	400				600		
RONGGA DALAM CAMPURAN (5) PADA KEPADATAN MEMBAL (REFUSAL)	LALU LINTAS (LL) > 1 JUTA ESA	MIN		-	2,5					
		MAX								
	> 0.5 JUTA ESA & < 1 JUTA ESA	MIN								
		MAX								
LALU LINTAS (LL) < 0.5 JUTA ESA			1							

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Agustus 2001

Catatan :

1. Modifikasi Marshall
2. Untuk menentukan kepadatan membal (refusal), penumbuk bergetar (Vibratory hammer) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbuk manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 in dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 in.
3. Untuk lalu lintas yang sangat lambat atau lajur padat, gunakan ESA yang lebih tinggi
4. Berat jenis efektif agregat akan dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (Gmm Test, AASHTO T-209)
5. Direksi Pekerjaan dapat menyetujui prosedur pengujian AASHTO T-283 sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air. Pengkondisian beku cair (freeze thaw conditioning) tidak diperlukan Standar minimum untuk diterimanya prosedur T-283 harus 80 % Kuat Tarik Sisa.

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos						
		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5							100
1"	25						100	90 - 100
3/4"	19	100	100	100	100	100	90 - 100	Maks 90
1/2"	12,5			90 - 100	90 - 100	90 - 100	Maks 90	
3/8"	9,5	90 - 100		75 - 85	65 - 100	Maks 90		
No. 8	2,36		75 - 100	50 - 72	35 - 55	29 - 58	23 - 39	19 - 45
No. 16	1,18							
No. 30	0,6			35 - 60	15 - 35			
No. 200	0,075	10 - 15	8 - 13	6 - 12	2 - 9	4 - 10	4 - 8	3 - 7
Daerah Terlarang								
No. 4	4,75					-	-	39,5
No. 8	2,36					39,1	34,6	26,8 - 30,8
No. 16	1,18					25,6 - 31,6	22,3 - 28,3	18,1 - 30,8
No. 30	0,6					19,1 - 23,1	16,7 - 20,7	13,6 - 17,6
No. 50	0,3					15,5	13,7	11,4

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Agustus 2001

Catatan :

1. Untuk HRS-WC dan HRS-Base paling sedikit 80 % agregat lolos ayakan No. 8 (2.36 mm) harus juga lolos No. 30 (0.600 mm). Lihat contoh batas-batas “bahan bergradasi senjang” yang lolos ayakan No. 8 (2.36 mm) dan tertahan ayakan No. 30 (0.600 mm) dalam tabel 2.4
2. Untuk AC, digunakan titik kontrol gradasi agregat, berfungsi sebagai batas-batas rentang utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas-batas gradasi ditentukan pada ayakan ukuran nominal maksimum, ayakan menengah (2.36 mm) dan ayakan terkecil (90.75 mm).

Tabel 2.6 Contoh batas-batas “Bahan bergradasi senjang”

% lolos No. 8	40	50	60	70
% lolos No. 30	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Agustus 2001

## **2.6 Pengujian Campuran Beraspal**

### **2.6.1 Marshall Test**

Konsep *Marshall Test* dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur perkerasan pada *Mississippi State Highway*. Pada tahun 1948 *US Corp of Engineering* meningkatkan dan menambahkan beberapa kriteria pada prosedur tesnya, terutama kriteria rancangan campuran. Sejak itu tes ini banyak diadopsi oleh berbagai organisasi dan pemerintahan di banyak negara, dengan beberapa modifikasi prosedur ataupun interpretasi terhadap hasilnya.

Dua parameter penting yang ditentukan pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat dipikul briket sampel sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan jumlah akumulasi deformasi briket sampel sebelum hancur yang disebut *Marshall Flow*. Dan juga turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall Stability* dengan *Marshall Flow* disebut sebagai *Marshall Quotient*, yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*pseudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (*Shell*, 1990). Parameter lainnya yang penting dalam metode *Marshall* adalah analisis *Void* yang terdiri dari *Density*, *Void In the Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA) yang dilakukan pada kondisi standard (2 x 75) tumbukan dan pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) tumbukan.

### **2.6.2 Durabilitas**

*Shell Bitumen* (1990) mendefinisikan durabilitas sebagai kemampuan mempertahankan *rheologi*, *kohesi* dan *adhesi* yang memuaskan selama masa pelayanan jangka panjang. Disamping itu potensi keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran terhadap kelanjutan kerusakan kombinasi akibat air dan suhu (*CRAUS, J. Et al*, 1981).

Faktor yang mempengaruhi durabilitas campuran beton aspal adalah :

1. *Filler* aspal atau selimut aspal

*Filler* aspal atau selimut aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis beton aspal yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi tinggi.

## 2. *Void In the Mix* (VIM)

Jika nilai VIM kecil, maka campuran tersebut bersifat kedap air dan udara tidak dapat masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh/ getas.

## 3. *Void Filled with Asphalt* (VFA)

Jika nilai VFA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi, kemungkinan terjadinya *bleeding* besar, untuk mencapai VFA yang besar diperlukan agregat bergradasi senjang.

Ada beberapa metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran aspal, seperti dijelaskan dibawah ini :

### a. Metode Pengujian Durabilitas Standar

Salah satu metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh rendaman terhadap campuran perkerasan aspal adalah pengujian Marshall yang mana stabilitas dari benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman di dalam air pada suhu 60 °C.

AASHTO (1993) menggambarkan sebuah prosedur yang berdasarkan kepada pengukuran kehilangan dari hasil sebuah kekuatan tekan dari aksi air pada pemadatan campuran aspal. Suatu indeks numerik dari berkurangnya kekuatan tekan diperoleh dengan membandingkan kekuatan tekan benda uji yang telah direndam di dalam air selama 24 jam pada suhu  $60 \pm 1$  °C di bawah kondisi yang ditentukan.

### b. Metode Pengujian Durabilitas Modifikasi

Kriteria perendaman 24 jam tidak selalu menggambarkan sifat keawetan campuran setelah masa perendaman yang lebih lama (CRAUS, J. Et al, 1981). Peneliti-peneliti ini memeriksa keawetan benda uji dari material aspal yang direndam di dalam air untuk waktu yang lebih lama dan dicari suatu parameter kuantitatif tunggal yang akan memberikan ciri kepada kurva keawetan.



### 2.6.3 Dust Proportion

*Dust proportion* adalah suatu nilai perbandingan antara prosentase *filler* terhadap prosentase aspal, tujuannya adalah untuk memprediksi kondisi campuran yang baik. Nilai *dust proportion* yang terlalu tinggi menyebabkan campuran menjadi kurang menyatu antara agregat kasar dan agregat halus yang disebabkan penyerapan aspal oleh *filler* terlalu tinggi. Campuran agregat aspal menurut *Brien* (1978) dengan perbandingan *filler* aspal (*dust proportion*) yang rendah (low F/B ratio), maka akan menghasilkan campuran yang lunak sehingga menyebabkan nilai stabilitas campuran yang rendah, sebaliknya jika *dust proportion* tinggi (high F/B ratio) maka akan menghasilkan campuran yang keras sehingga akan menyebabkan nilai stabilitas campuran yang tinggi. Akan tetapi penggunaan *dust proportion* perlu dibatasi sehingga campuran tidak terlalu keras sehingga keretakan dapat dihindari.

### 2.7 Penelitian terdahulu yang relevan

*Wan Ramli* (2000) menyatakan bahwa faktor regional temperatur dan air dari curah hujan yang tinggi merupakan salah satu penyebab percepatan kerusakan campuran beton aspal. Untuk mengetahui kualitas dan karakteristik campuran telah dilakukan uji perendaman. Dalam penelitian tersebut digunakan campuran panas beton aspal grading V (standar Bina Marga, 1987) dengan *dust proportion* tinggi dan kadar *filler* rendah. Uji perendaman 0,5 jam, 24 jam, 48 jam dan 72 jam untuk mengetahui Indeks Kekuatan Sisa dan tingkat keawetan campuran beton aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama perendaman akan menurunkan nilai stabilitas dan menaikkan nilai *flow*. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga (1998) *dust proportion* 1,5 ; 1,7 ; 1,9 ; 2,1 dengan lama perendaman 0,5 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam dan variasi kadar *filler* 5 %, 6 %, 7 %, dan 8 %, benda uji belum dapat memenuhi spesifikasi akibat adanya nilai *void in mineral aggregate* (VMA) lebih besar dari 16 % dan nilai *void in the mix* (VIM) lebih besar dari 3 – 5 %.

*Bambang Ismanto Siswosoebrotho* (1998), melakukan penelitian peranan *filler* pada sifat-sifat teknik campuran *Hot Rolled Sheet* dengan menggunakan varian *filler* dari semen, kapur, lanau dan *fly ash* dengan menggunakan aspal penentrasi 60 / 70 dari Pertamina. Dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan :

1. Mineral *filler* yang merupakan salah satu komponen dalam campuran *Hot Rolled Sheet* dapat diganti dengan bahan lain yang bergradasi serupa namun dengan tingkat kemudahan untuk didapatkan dilapangan yang lebih tinggi.
2. Empat macam *filler* yang dicoba dalam penelitian ini dapat dipakai sebagai pengganti bahan semen sebagai bahan mineral *filler* dalam campuran *Hot Rolled Sheet*.
3. Khususnya mineral *filler* dari bahan kapur sangat potensial sebagai bahan filler dan bahkan mempunyai kekuatan lebih yaitu dengan tingkat *durabilitas* yang lebih tinggi dibanding dengan *filler* konvensional.
4. Bahan *silt* dapat dipakai di dalam campuran HRS untuk konstruksi jalan dengan lalu lintas rendah sedangkan kapur dan abu terbang dapat dipakai untuk perkerasan jalan dengan jumlah lalu lintas sedang sampai berat.

Berikut ini tabel hasil penelitian tentang sifat-sifat teknis campuran (pada kadar aspal optimum).

Tabel 2.7 Sifat – sifat Teknis Campuran  
(Pada Kadar Aspal Optimum)

Parameter	Jenis <i>Filler</i>			
	Semen	Lanau	Kapur	<i>Fly ash</i>
Kadar Aspal Optimum (%)	7,95	7,97	8,67	6,98
Stabilitas (kN)	12,93	3,91	11,37	9,68
Kelelehan (mm)	4,45	8,78	4,94	3,90
Berat Isi (t/m <sup>3</sup> )	2,10	2,09	2,08	2,15
Porositas (%)	5,42	4,26	2,48	0,13
VMA (%)	21,62	20,42	19,26	14,70
Marshall Quotient (kN/mm)	2,91	0,45	2,30	2,48

Sumber : Bambang Ismanto Siswosoebroto (1998)

Pertamina bekerjasama dengan *Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran Desember 2000*, menghasilkan kesimpulan bahwa :

1. Hasil penelitian pendahuluan yang dilakukan terhadap *spent catalyst Residue Catalytic Cracking* (RCC) UP VI Pertamina Balongan Indramayu mengindikasikan dapat digunakan sebagai *filler* untuk beton campuran panas *Asphalt Concrete* (AC).

2. Gradasi mineral *spent catalyst* RCC memenuhi persyaratan sebagai gradasi *filler*.
3. Sifat-sifat campuran beraspal

Campuran beraspal yang menggunakan bahan tambah *spent catalyst* RCC sebanyak 2%, 5% dan 7% pada beton campuran panas *Asphalt Concrete* (AC) memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Campuran yang menggunakan bahan pengikat aspal pen 60/70 dengan bahan tambah *spent catalyst* RCC memiliki stabilitas Marshall lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal penetrasi 60/70 saja, sehingga campuran dengan menggunakan bahan tambah *spent catalyst* RCC memiliki kekuatan yang lebih besar dan ketahanan terhadap retak yang lebih besar dibandingkan dengan campuran beraspal yang menggunakan aspal pertamina 60/70. Kecuali sisa stabilitas Marshall pada campuran dengan menggunakan bahan tambah *spent catalyst* RCC sebanyak 7% tidak memenuhi persyaratan, dikarenakan tebal film aspal tidak cukup menyelimuti luas permukaan agregat. Ditinjau terhadap ketahanan deformasi campuran yang menggunakan bahan tambah *spent catalyst* RCC adalah dua kali lebih besar dibandingkan campuran tanpa bahan tambah.
- b. Bila dibandingkan antara campuran yang menggunakan bahan tambah *spent catalyst* RCC, diperoleh bahwa berdasarkan besaran *Marshall* relatif meningkat, demikian pula jika ditinjau terhadap ketahanan deformasi.

Hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil-hasil sebagai berikut seperti pada Tabel 2.8 dibawah ini :

Tabel 2.8 Sifat-sifat campuran beraspal panas

No	Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian				Syarat
		0% Cat	2% Cat	5% Cat	7% Cat	
1	Kadar Aspal Optimum (%)	6	6.3	6.5	6.8	-
2	Kepadatan (ton/m <sup>3</sup> )	2.31	2.29	2.285	2.27	-
3	Rongga dalam Agregat (VMA)	17	17.7	17.7	17.8	Min 16
4	Rongga Terisi Aspal (VFA)	69	69	69	70	Min 65
5	Rongga dalam Campuran (VIM)	5.7	5.7	5.8	5.6	4-6
6	Rongga pada PRD (VIM)	4	4.1	4.1	4.6	Min 3
7	Stabilitas Marshall (kg)	1600	1650	2100	2280	Min 800
8	<i>Flow</i> (mm)	3.3	3.4	3.6	3.25	Min 2
9	<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	500	480	580	710	200-500
10	Stabilitas Sisa (%)	90.06	94.43	81.05	69.96	Min 75
11	<i>Wheel Tracking Machine</i> suhu 60					
	* Deformasi Awal (DO) mm	2.03	1.68	1.56	2.17	-
	* Stabilitas Dinamis (DS) lintasan/mm	1853	1909	2250	2739	-
	* Kec. Deformasi (RD) mm/menit	0.023	0.022	0.019	0.015	-
12	Modulus resilient (Mpa)	3556	3578	4484	4810	-

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Umum**

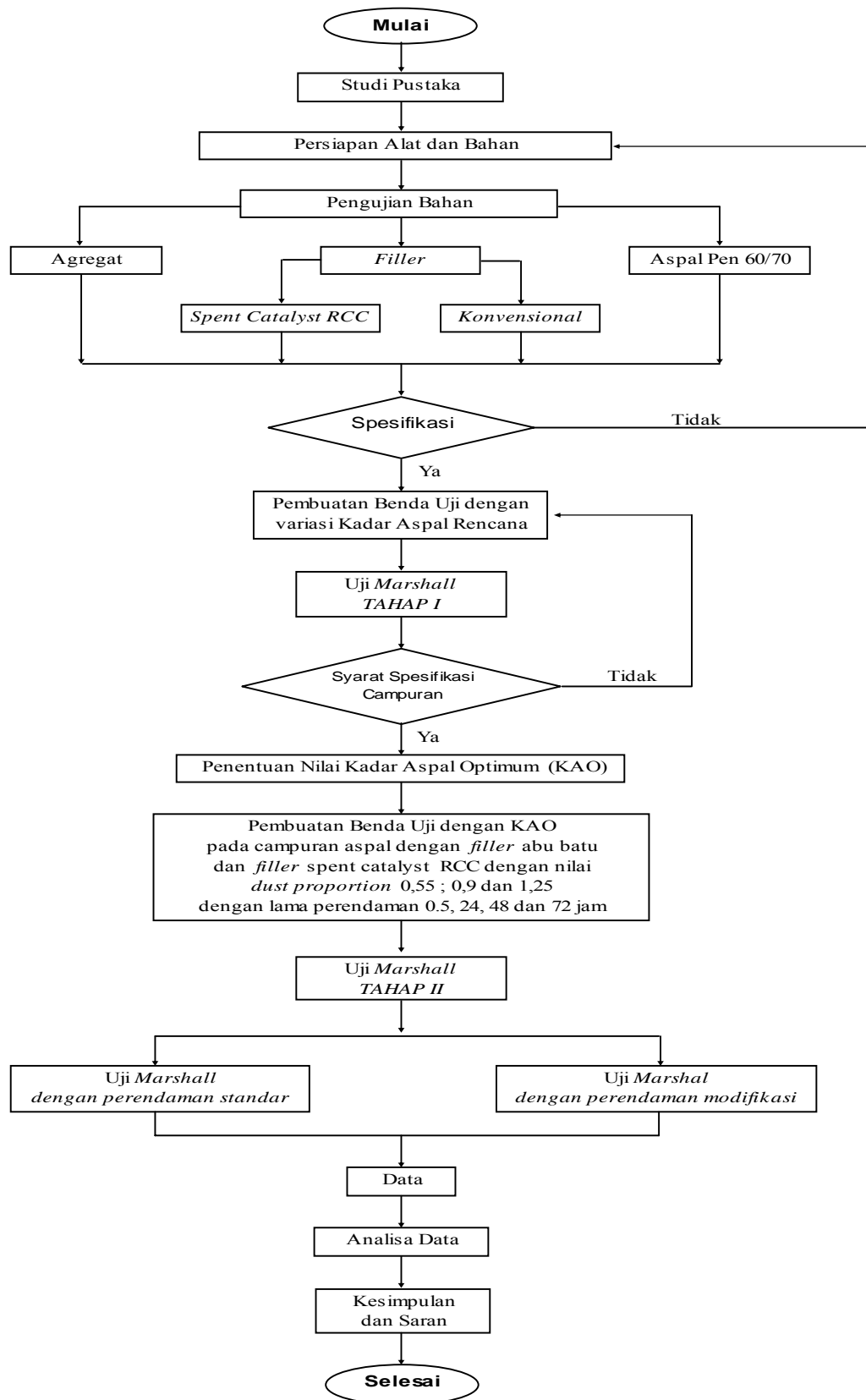
Agar tujuan dan sasaran penelitian dapat dicapai sesuai yang diharapkan perlu ditentukan alur / program kerja penelitian yang akan dilaksanakan. Alur / program kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1, dimana secara garis besar, metode pengkajian yang akan dilaksanakan berupa pengambilan bahan-bahan dilapangan kemudian dilanjutkan pengujian/ pengukuran dan pengamatan di laboratorium baik terhadap bahan individu (aspal, agregat, *filler*) dan briket campuran aspal panas.

Bahan – bahan yang digunakan untuk campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS) harus sesuai dengan spesifikasi dan beragam pengujian yang dilakukan untuk menjamin bahan yang digunakan memiliki sifat-sifat seperti yang diharapkan. Begitu juga dengan material *filler* katalis bekas RCC limbah dari UP VI PERTAMINA Balongan tersebut diharapkan dapat menjadi bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai material (*filler*) untuk mengganti *filler* yang telah biasa digunakan (konvensional). Sehingga akan didapatkan material *filler* alternatif yang notabene bisa digunakan sebagai pengganti material konvensional yang mulai langka.

Dalam penelitian ini, pengujian bahan – bahan dilakukan dengan menggunakan prosedur SNI. Jika prosedur pengujian tidak terdapat pada SNI, digunakan prosedur – prosedur lain seperti AASHTO dan ASTM.

Disamping itu, juga akan diteliti/ dibahas pengujian Marshall yang akan dilakukan dengan melalui 2 (dua) tahap, yaitu Tahap I (pengujian Marshall untuk mencari KAO) dan Tahap II (pengujian Marshall pada berbagai variasi jenis filler, rendaman dan kadar filler).

Adapun alur / program kerja penelitian yang akan dilakukan seperti terlihat pada bagan alir dibawah ini (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

## **3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian**

### **3.2.1 Bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain :

13. Agregat (kasar dan halus) dari Singorojo Gunungpati Semarang yang diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) AMP PT. Mohandas Sarana di Gunungpati Semarang.
14. Begitu juga untuk *filler* abu batu konvensional diambil dari Singorojo Gunungpati Semarang hasil pemecahan batu (*stone crusher*) AMP PT. Mohandas Sarana di Gunungpati Semarang.
15. *Filler* pembanding yang digunakan adalah katalis bekas RCC UP VI PERTAMINA Balongan Indramayu.
16. Aspal keras yang digunakan adalah AC penetrasi 60/70 dari Pertamina.

### **3.2.2 Peralatan Penelitian**

#### **1. Alat uji pemeriksaan aspal**

Alat yang digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain :

- a. Alat uji penetrasi
- b. Alat uji titik lembek
- c. Alat uji titik nyala dan titik bakar
- d. Alat uji daktilitas
- e. Alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan)
- f. Alat uji kelarutan (CCL<sub>4</sub>)

#### **2. Alat uji pemeriksaan agregat**

Alat yang digunakan antara lain :

- a. Mesin *Los Angeles* (tes abrasi)
- b. Saringan standar
- c. Alat pengering (*oven*)
- d. Timbangan berat
- e. Alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas)
- f. Bak perendaman dan tabung *sand equivalent*

### 3. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal

Alat uji yang digunakan adalah :

- a. Alat tekan *Marshall* yang terdiri kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flowmeter*).
- b. Alat cetak benda uji (*mold*) berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inch) dengan tinggi 7,5 cm (3 inch) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,25 cm (6 in) dengan 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- c. Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm, berat 4,5 kg (10 lb) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inch) untuk *Marshall* standar.
- d. Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- e. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
- f. Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.

### 3.3 Pengujian dan Persyaratan Bahan

#### 3.3.1 Agregat

Agregat adalah komponen terbesar dalam campuran beraspal, yaitu dalam kisaran 90 % hingga 95 % dari berat total atau 75 % hingga 85 % dari volume total campuran, dan akan memberikan kontribusi biaya berkisar 30 % biaya keseluruhan pembangunan jalan. Hingga praktis karakteristik campuran sangat ditentukan oleh sifat keseluruhan agregat atau gradasinya. Karena itu agregat perlu diuji dan diharuskan memenuhi spesifikasi agar diperoleh campuran yang bermutu. Pengujian dan persyaratan untuk agregat dapat dilihat pada Tabel 2.1.

#### 3.3.2 Aspal

Material ini walaupun jumlah persentasenya kecil, namun menentukan dalam menyatukan keseluruhan komponen campuran, sekaligus bernilai mahal untuk skala proyek. Karena itu, disyaratkan memenuhi spesifikasi yang digariskan agar diperoleh



campuran bermutu dan awet (*durable*). Adapun aspal yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah aspal produk Pertamina dengan penetrasi 60/70 dan syarat-syarat pengujian yang dilakukan terhadap aspal tersebut adalah seperti pada Tabel 2.3.

### 3.3.3 Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 varian, yaitu abu batu kali konvensional (standar) dan filler katalis bekas RCC UP VI PERTAMINA Balongan (uji) sebagai pembanding untuk mencari nilai *dust proportion* yang optimal. *Filler* sekurang-kurangnya 85 % dari material ini disyaratkan lolos saringan No. 200. Pengujian laboratorium yang dilakukan adalah pengujian berat jenis (ASTM C 188-44).

## 3.4 Perencanaan Campuran HRS - WC

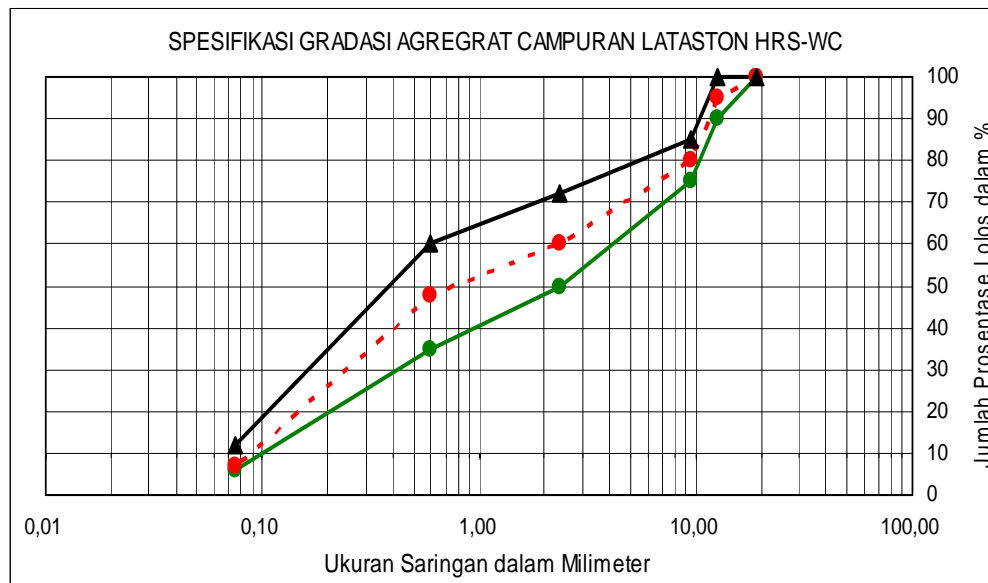
Perencanaan campuran meliputi pemilihan gradasi agregat, tingkatan aspal dan penentuan kadar aspal optimum. Tujuannya adalah untuk menghasilkan suatu perencanaan yang ekonomis dan memenuhi kriteria teknik.

Lapisan aus *Hot Rolled Sheet* harus direncanakan untuk mempunyai stabilitas dan keawetan yang cukup baik untuk mengantisipasi beban lalu lintas maupun untuk mencegah pengaruh masuknya udara, air dan perubahan suhu.

Berdasarkan hasil analisis saringan maka ditentukan berat masing-masing ukuran agregat dengan prosentase yang telah ditetapkan terlebih dulu dalam target gradasi. Setiap benda uji umumnya memerlukan berat agregat 1200 gram. Syarat untuk HRS-WC yaitu paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No. 8 (2,36 mm) harus juga lolos ayakan No. 30 (0,60 mm). Target gradasi dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.1 Target Gradasi dengan ukuran Maksimum 19 mm

Ukuran Ayakan		Prosentase Lolos	Hasil Perhitungan		Berat
ASTM	mm		Target Gradasi	Tertahan	
¾"	19	100	100	0	-
½"	12,5	90 – 100	95	5	60
3/8"	9,5	75 – 85	80	15	180
# 8	2,36	50 – 72	60	20	240
# 30	0,600	35 – 60	48	12	144
# 200	0,075	6 - 12	7	41	492
		Pan		7	84
Berat total agregat (gram)					1200



Gambar 3.2 Target Agregat Campuran HRS-WC

### 3.4.1 Prosedur Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Analisa untuk memperoleh kadar aspal optimum sesuai persamaan 3.1

$$Pb = 0.035 \times (\%CA) + 0.045 \times (\%FA) + 0.18 \times (\%FF) + \text{konstanta} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan : Pb = Perkiraan kadar aspal terhadap campuran  
CA = Agregat kasar tertahan saringan 8 (Coarse Aggregate)  
FA = Agregat halus lolos saringan 8 (Fine Aggregate)  
FF = Bahan pengisi (*filler*) lolos saringan nomor 200  
K = Konstanta 2,0 – 3,0 untuk HRS

Nilai Pb hasil perhitungan dibulatkan mendekati 0,5 %. Ditentukan 3 kadar aspal diatas dan 2 kadar aspal dibawah aspal perkiraan awal yang sudah dibulatkan mendekati 0,5 % tersebut.

### 3.4.2 Pengujian analisa campuran aspal panas

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran beraspal panas adalah sebagai berikut :

1. Berat Jenis Bulk dari Total Agregat :

$$G_{sb_{tot \text{ agregat}}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_{sb_1}} + \frac{P_2}{G_{sb_2}} + \frac{P_3}{G_{sb_3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sb_n}}} \dots\dots\dots (3.2)$$

2. Berat Jenis Aparent dari Total Agregat :

$$G_{sa_{tot \text{ agregat}}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_{sa_1}} + \frac{P_2}{G_{sa_2}} + \frac{P_3}{G_{sa_3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sa_n}}} \dots\dots\dots (3.3)$$

3. Berat Jenis Efektif dari Total Agregat :

$$G_{se_{tot \text{ agregat}}} = \frac{\frac{P_{mm} - Pb}{G_{mm}} - \frac{Pb}{Gb}}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (3.4)$$

4. Berat Jenis Teoritik Maksimum dari Campuran (Compacted Mixture) :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{ss}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (3.5)$$

5. Rongga dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture*) :

$$VIM = 100 \times \left( \frac{G_{mm} + G_{mb}}{G_{mm}} \right) \dots\dots\dots (3.6)$$

6. Rongga dalam mineral agregat (*Void in the Mineral Aggregate*) dalam persen terhadap total volume:

$$VMA = 100 - \left( \frac{G_{MB} \times P_s}{G_{SB}} \right) \dots\dots\dots (3.7)$$

7. Berat isi atau kepadatan (*density*):

$$Density = \frac{Berat\ benda\ uji\ di\ udara}{Isi\ benda\ uji} \dots\dots\dots (3.8)$$

8. Persen rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt*) dalam persen terhadap *Void in the Mineral Aggregate* (VMA) :

$$VFA = 100 \times \left( \frac{VMA - VIM}{VMA} \right) \dots\dots\dots (3.9)$$

9. *Marshall Quotient* (MQ) :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (3.10)$$

10. Pengujian Perendaman Standar

Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990. Perendaman benda uji dilakukan pada temperatur  $60 \pm 1^\circ \text{C}$  selama 24 jam. Masing-masing golongan terdiri dari 2 sampel yang direndam pada bak perendam untuk semua variasi kadar aspal.

Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian Marshall perendaman di dalam air pada suhu  $60^\circ \text{C}$  selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (IRS), dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = \left[ \frac{MSi}{MSs} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (3.11)$$

Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas mensyaratkan IRS harus lebih besar dari 80 % (lihat Tabel 2.5).

#### 11. Pengujian Durabilitas Modifikasi

(Crauss, J et. Al, 1981) telah mengembangkan parameter tunggal yang dapat menggambarkan kondisi keawetan suatu campuran beraspal panas, setelah melalui serangkaian periode perendaman tertentu. Parameter ini dinamakan indeks keawetan dan terdiri dari dua jenis, yaitu indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua. Dalam metode ini dilakukan lama perendaman (1/2, 24, 48, dan 72 jam).

##### a). Indeks Durabilitas Pertama

Indeks pertama didefinisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan.

$$r = \sum \frac{S_i - S_{i+1}}{T_{i+1} - T_i} \dots\dots\dots (3.12)$$

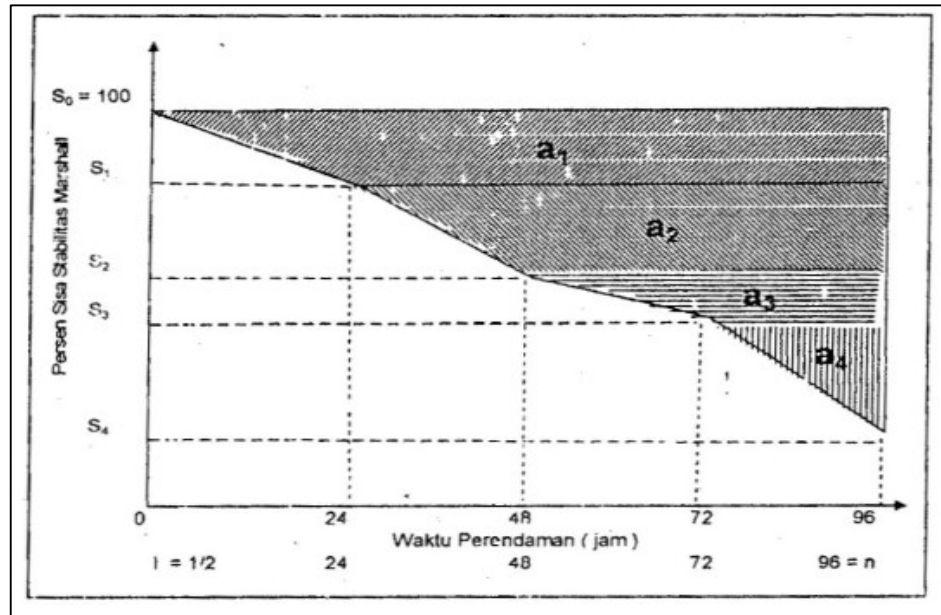
##### b). Indeks Durabilitas Kedua

Indeks kekuatan kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis  $S_o = 100$  persen. Indeks (a) ini dinyatakan sebagai berikut :  $(S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})]$

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} \dots\dots\dots (3.13)$$

Indeks keawetan kedua juga dinyatakan sebagai suatu kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari (a) menunjukkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif sebagai peningkatan kekuatan. Menurut definisinya,  $a < 100$ . karena itu, memungkinkan untuk menyatakan prosentase kekuatan sisa satu hari ( $S_a$ ) sebagai berikut :

$$S_a = (100 - a) \% \dots\dots\dots (3.14)$$



Sumber : CRAUS, J. dan kawan-kawan  
Gambar 3.3. Skema Kurva Keawetan

## 12. Dust proportion

*Dust proportion* adalah suatu nilai perbandingan antara prosentase *filler* terhadap prosentase aspal. *Asphalt institute* (MS-1) menyebutkan *dust proportion* yang baik berkisar antara 0,6 s/d 1,2. rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$DP = \frac{Pf}{Pb} \dots\dots\dots (3.15)$$

Keterangan :

$G_{sb}$	= Berat Jenis Bulk total agregat dalam gr/cc
$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$	= Persen berat dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}, \dots, G_{sbn}$	= Berat Jenis Bulk dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sa}$	= Berat Jenis Apparent dari total agregat
$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}, \dots, G_{san}$	= Berat Jenis Apparent dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{se}$	= Berat Jenis Efektif dari total agregat
$G_{mm}$	= Berat Jenis Teoritis maksimum dari campuran padat tanpa rongga udara.
$P_{mm}$	= Total campuran yang hilang.
	Persen dari total campuran = 100 %

$P_b$	= Kadar aspal dari total berat campuran
$G_b$	= Berat Jenis dari aspal
$P_s$	= Persentase agregat, persen dari total berat campuran
$G_{mb}$	= Berat Jenis Bulk dari campuran
$VIM$	= <i>Void in the Mix</i> (Persen rongga dalam campuran), Persen dari total volume
$VMA$	= <i>Void in Mineral Aggregate</i> (Persen rongga dalam mineral agregat), persen dari volume bulk
$VFA$	= Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari $VMA$
$MS$	= Stabilitas <i>Marshall</i>
$MF$	= <i>Marshall Flow</i> (kelelehan)
$MQ$	= <i>Marshall Quotient</i>
$MSS$	= Stabilitas <i>Marshall</i> kondisi Standar
$MSI$	= Stabilitas <i>Marshall</i> kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60° C
$IRS$	= <i>Indeks of Retained Strength</i>
$r$	= Indeks penurunan stabilitas (%)
$S$	= Nilai stabilitas (%)
$T$	= Waktu perendaman (jam)
$DP$	= <i>Dust Proportion</i>
$P_f$	= Prosentase <i>filler</i>
$P_b$	= Prosentase <i>bitumen</i>

### 3.4.3 Perencanaan jumlah Benda Uji

#### a. Uji Marshall standar Kadar Aspal Optimum

Tabel 3.1 Perhitungan kebutuhan benda uji

Kadar Aspal	<i>Dust Proportion</i>		Jumlah Benda Uji
	<i>filler spent catalyst</i>	<i>filler konvensional</i>	
- 1,0 %	2D/2S	2D/2S	8
- 0,5 %	2D/2S	2D/2S	8
Pb	2D/2S	2D/2S	8
+ 0,5 %	2D/2S	2D/2S	8
1%	2D/2S	2D/2S	8
<b>Jumlah</b>			<b>40</b>

- b. Untuk pengujian *Marshall* standar dan Uji Durabilitas Standar (2x75) dengan kadar aspal optimum, variasi *dust proportion* dan variasi perendaman, seperti terinci pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Perhitungan kebutuhan benda uji

Lama Perendaman  (jam)	<i>Dust Proportion</i>						Jumlah  Benda Uji
	<i>filler spent catalyst</i>			<i>filler konvensional</i>			
	0,55	0,9	1,25	0,55	0,9	1,25	
0,5	2D	2D	2D	2D	2D	2D	12
24	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
48	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
72	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
Jumlah							48

- c. Untuk pengujian *Marshall* kepadatan mutlak (2x400) dan Uji Durabilitas Modifikasi dengan kadar aspal optimum, variasi *dust proportion* dan variasi perendaman, seperti terinci pada Tabel 3.3 dibawah ini.



Tabel 3.3 Perhitungan kebutuhan benda uji

Lama Perendaman (jam)	<i>Dust Proportion</i>						Jumlah Benda Uji
	<i>filler spent catalyst</i>			<i>filler konvensional</i>			
	0,55	0,9	1,25	0,55	0,9	1,25	
0,5	2D	2D	2D	2D	2D	2D	12
24	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
48	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
72	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
Jumlah							48

Jadi jumlah total benda uji = 40 + 48 + 48 = 136 buah sampel

### 3.5 Pengujian Marshall

Prosedur pelaksanaan pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut :

1. Menimbang agregat sesuai dengan persentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing fraksi dengan berat agregat 1200 gram, kemudian dikeringkan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .
2. Memanaskan aspal untuk pencampuran yaitu pada viskositas kinematik  $100 \pm 10$  centitokes, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap, maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.
3. Setelah temperatur pemadatan tercapai yaitu pada viskositas kinematik  $100 \pm 10$  centitokes, maka campuran tersebut dimasukan ke dalam cetakan yang telah dipanasi ( $100^{\circ}\text{C}$  hingga  $170^{\circ}\text{C}$ ) dan diolesi vaselin terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas filter atau kertas lilin yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan, sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali dibagian tepi dan 10 kali dibagian tengah.
4. Pemadatan dilakulan menggunakan alat pemadat manual dengan jumlah tumbukan 75 kali dibagian sisi atas, kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk 75 kali.

5. Pemadatan lanjutan untuk kepentingan kepadatan membal (*refusal*) dilaksanakan seperti cara pemadatan standar hanya tumbukannya dilakukan sebanyak 2 x 400 tumbukan.
6. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didinginkan pada suhu ruang kurang lebih 24 jam, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
7. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang beratnya diudara.
8. Benda uji direndam dalam air selama 24 jam supaya jenuh.
9. Setelah jenuh benda uji ditimbang beratnya dalam air.
10. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi permukaan kering jenuh (*Saturated Surface Dry/ SSD*) kemudian ditimbang.
11. Benda uji direndam dalam bak perendaman (*waterbath*) pada suhu 60<sup>0</sup>C selama 30 hingga 40 menit. Pengujian untuk mendapatkan nilai stabilitas sisa, dilakukan dengan merendam benda uji dalam bak perendaman (*waterbath*) pada suhu 60<sup>0</sup>C selama 24 jam.
12. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
13. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman, letakkan benda uji ditengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut ditengah alat pembebanan, arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada salah satu batang penuntun.
14. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji *flow* pada angka nol.
15. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inchi) per menit, hingga kegagalan benda uji terjadi yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula baca arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat benda uji mengalami kegagalan adalah merupakan nilai stabilitas *Marshall*. Nilai stabilitas *Marshall*

dicocokkan dengan tabel kalibrasi kemudian dikalikan dengan koreksi volume benda uji sehingga menjadi nilai stabilitas *Marshall* terkoreksi.

16. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 60 detik.
17. Untuk pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dengan tingkat penetrasi 60/70.
18. Campuran agregat aspal standar dimasukan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisi sebanyak 75 kali pada temperatur  $\pm 160^{\circ}\text{C}$ .
19. Selanjutnya campuran agregat-aspal dicampur pada suhu  $\pm 160^{\circ}\text{C}$ , sedangkan suhu pemadatannya ditetapkan pada suhu  $140^{\circ}\text{C}$ .
20. Campuran agregat aspal untuk mencapai kepadatan membal dimasukan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisinya 400 kali pada suhu pencampuran  $\pm 160^{\circ}\text{C}$  dan suhu pemadatan  $\pm 140^{\circ}\text{C}$ .
21. Setelah proses pemadatan selesai, benda uji didinginkan selama  $\pm 4$  jam, dan kemudian dilakukan test *Marshall*.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengujian Material

Sebagaimana yang telah disampaikan pada bagan alir pengujian material dilakukan dengan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan AASHTO sebagai acuan apabila pengujian yang dimaksud tidak terdapat dalam SNI, pengujian material meliputi : pemeriksaan sifat agregat (kasar, halus dan *filler*) dan pemeriksaan sifat fisik aspal Penetrasi 60/70.

##### 4.1.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pemeriksaan fisik agregat meliputi agregat kasar, agregat halus dan filler dipresentasikan pada Tabel 4.1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat memenuhi syarat untuk digunakan sebagai material pada campuran HRS-WC. Hasil pemeriksaan fisik secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran B dan Lampiran C.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

No	Pengujian	Metoda	Syarat	Hasil	Ket
<b>Agregat kasar</b>					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	1,660%	Memenuhi
2.	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1969-1990	$\geq 2.5$	2,667	Memenuhi
3.	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 03-1969-1990	-	2,790	Memenuhi
4.	Berat jenis efektif	SNI 03-1969-1990	-	2,729	Memenuhi
5.	Keausan/Losangeles abrasion test	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$	23,73%	Memenuhi
6.	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	$\geq 95\%$	98%	Memenuhi
7.	<i>Soundness test</i>	SNI 06-2439-1991	$\leq 7\%$	5,06%	Memenuhi
<b>Agregat halus</b>					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,701%	Memenuhi
2.	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5$	2,701	Memenuhi
3.	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 03-1970-1990	-	2,833	Memenuhi
4.	Berat jenis efektif	SNI 03-1970-1990	-	2,767	Memenuhi
5.	<b>Sand Equivalent</b>	AASHTO T-176	$\geq 50\%$	73,231%	Memenuhi
<b>Filler</b>					
1.	Berat Jenis Abu Batu	SNI 03-1970-1990	-	2,502	Memenuhi
2.	Berat Jenis <i>Spent Catalyst RCC</i>	SNI 03-1970-1990	-	2,304	Memenuhi

#### 4.1.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal

Pemeriksaan dilakukan terhadap sifat fisik aspal penetrasi 60/70 untuk ex Pertamina yang telah memenuhi spesifikasi SNI dan AASHTO. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2. Hasil secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran C.

**Tabel 4.2.** Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen. 60/70. Ex Pertamina

No	Sifat-sifat	Satuan	Spesifikasi Pen 60/70		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Min	Max		
1	Penetrasi (25 <sup>0</sup> C, 100 gr, 5 detik)	0,1 mm	60	79	65,3	Memenuhi
2	Titik lembek ( <i>ring and ball test</i> )	<sup>0</sup> C	48	58	51,5	Memenuhi
3	Titik nyala ( <i>cleveland open cup</i> )	<sup>0</sup> C	200	-	335	Memenuhi
4	Kehilangan berat ( 163 <sup>0</sup> C), 5 jam	% berat	-	0,8	0,0385	Memenuhi
5	Kelarutan (CCl <sub>4</sub> )	% berat	99	-	99,436	Memenuhi
6	Daktilitas (25 <sup>0</sup> C, 5 cm per menit)	Cm	100	-	>110	Memenuhi
7	Pen setelah kehilangan berat	% asli	54	-	90,96	Memenuhi
8	Daktilitas setelah kehilangan berat	Cm	50	-	>110	Memenuhi
9	Berat jenis (25 <sup>0</sup> C)	gr/cm <sup>3</sup>	1	-	1,016	Memenuhi

Secara keseluruhan pemeriksaan terhadap sifat-sifat fisik aspal Penetrasi (60/70) ex Pertamina telah memenuhi standar spesifikasi aspal penetrasi 60/70.

#### 4.1.3 Hasil Pengujian *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*) Tahap I

Pengujian *Marshall* dan uji Durabilitas dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah untuk mencari Kadar aspal optimum dengan tolok ukur besaran *VIM* antara 3%-6% sesuai Spesifikasi baru untuk campuran Lataston *HRS-WC*, sedangkan tahap kedua untuk mencari sifat-sifat *Marshall* campuran pada kondisi standard (2x75) tumbukan maupun *refusal density* (2x400) tumbukan pada kadar aspal optimum dengan membuat variasi durasi perendaman (0.5, 24, 48, 72) jam, serta Pengujian perendaman standard (*IRS*) dan pengujian perendaman modifikasi (indeks keawetan pertama dan indek keawetan kedua) dengan membuat 2 variasi jenis *filler* yang digunakan, yaitu *filler spent catalyst* RCC dan *filler* konvensional sebagai pembanding.

Pada tahap pertama disiapkan masing-masing dua jenis benda uji untuk masing-masing kondisi *Dry (Unsoaked)* dan *Soaked*, dengan pembuatan benda uji dilakukan pada kadar aspal rencana sebesar 8 % (sesuai dengan persamaan 3.1 hal 30) terhadap total agregat dan dilakukan variasi kadar aspal sebesar 7 %, 7,5 %, 8 %, 8,5 %, 9 % dan masing-masing dibuat untuk 2 jenis *filler* yang digunakan, yaitu; *filler spent catalyst* RCC dan *filler* konvensional. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3. untuk *filler spent catalyst* RCC dan Tabel 4.4 untuk *filler* konvensional, hasil secara lengkap terdapat pada Lampiran E.

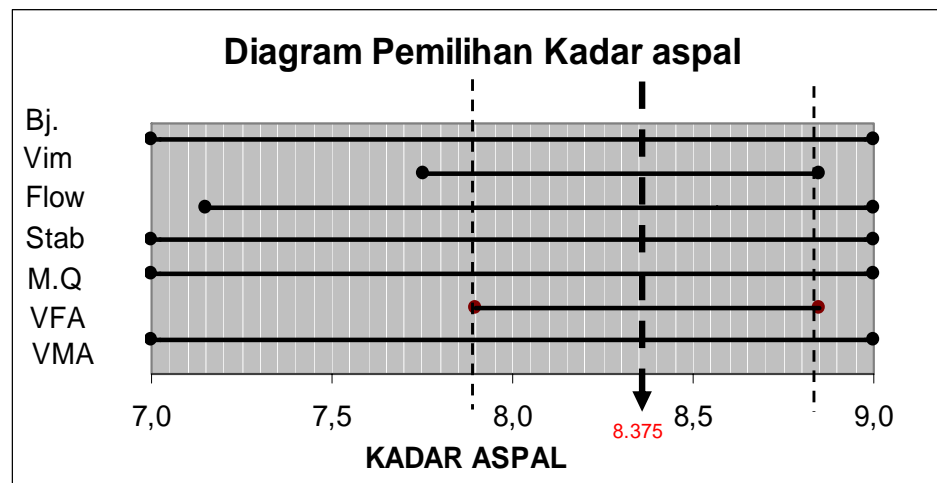
**Tabel 4.3.** Hasil Test *Marshall* Campuran *HRS-WC* dengan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan untuk *filler spent catalyst* RCC.

No	Karakteristik	Syarat	% Kadar Aspal terhadap total agregat dengan <i>filler Catalyst</i> RCC				
			7	7.5	8	8.5	9
1	Density (gr/cc)	-	2,224	2,235	2,247	2,267	2,280
2	VMA (%)	min 18	21,64	21,78	21,82	21,89	21,91
3	VFA (%)	min 75	65,62	70,54	75,69	81,98	87,49
4	VIM (%)	3-6	8,03	6,89	5,68	4,17	2,89
5	Stabilitas (kg)	min 800	1954,56	1964,16	1680,48	1592,16	1691,18
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	1,83	1,89	3,40	3,42	3,34
7	MQ (kg/mm)	min 200	1047,12	1018,86	484,57	457,08	497,16
8	Stabilitas sisa (%)	80%	79	89	99	97	73

**Tabel 4.4.** Hasil Test *Marshall* Campuran *HRS-WC* dengan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan untuk *filler* konvensional.

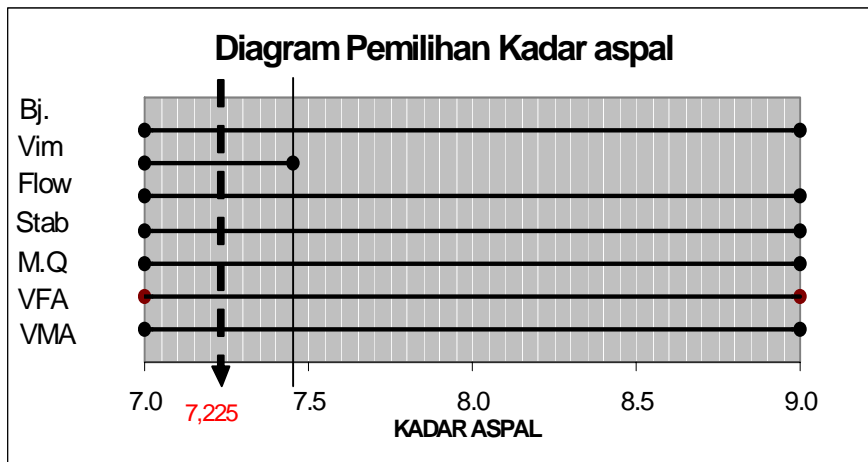
No	Karakteristik	Syarat	% Kadar Aspal terhadap total agregat dengan filler Konvensional				
			7	7.5	8	8.5	9
1	Density (gr/cc)	-	2,353	2,334	2,356	2,360	2,348
2	VMA (%)	min 18	17,98	19,06	18,74	19,04	19,89
3	VFA (%)	min 75	82,35	83,10	90,82	95,28	96,54
4	VIM (%)	3-6	3,47	3,50	1,88	0,98	0,75
5	Stabilitas (kg)	min 800	1937,52	1501,88	1512,16	1288,56	1120,08
6	Kelelahan (mm)	min 2.0	2,86	3,55	3,43	4,04	4,97
7	MQ (kg/mm)	min 200	665,33	414,77	432,85	313,08	220,95
8	Stabilitas sisa (%)	80%	84	86	77	83	90

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, sesuai Spesifikasi Baru serta dari hasil analisa seperti pada Tabel 4.3 untuk jenis *filler Spent Catalyst RCC*, didapat nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk *VMA* >18% pada kadar aspal 7% - 9%, *VFA* > 75% pada kadar aspal 7% - 9% dan *VIM* 3% - 6% pada kadar aspal 8% - 8,5%, dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas dan fleksibilitas di atas, didapatkan nilai kadar aspal optimum 8,375 %, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran HRS-WC dengan *filler spent catalyst RCC*.

Untuk *filler* Abu Batu Konvensional seperti pada Tabel 4.4, didapatkan nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk  $VMA > 18\%$  pada kadar aspal 7,5% - 9%,  $VFA > 75\%$  pada kadar aspal 7% - 9% dan  $VIM 3\% - 6\%$  pada kadar aspal 7% - 7,5%, dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas dan fleksibilitas di atas, didapatkan nilai kadar aspal optimum 7,225 %, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran HRS-WC dengan *filler* konvensional.

Dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 didapat Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran HRS WC masing-masing untuk *filler spent catalyst* dan *filler* konvensional. Kadar aspal optimum pada campuran HRS WC dengan menggunakan *filler spent catalyst* lebih tinggi dari campuran HRS WC dengan menggunakan *filler* konvensional. Rincian kadar aspal optimum pada masing-masing variasi *filler* tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC berbagai Komposisi *Filler*

No	Campuran HRS WC	Kadar Aspal Optimum (%)
1.	Filler spent catalyst RCC	8,375
2.	Filler abu batu konvensional	7,225



Untuk mengecek gradasi agregat dan kadar aspal tersebut diatas telah dilakukan uji laboratorium berupa test ekstraksi untuk masing-masing penggunaan jenis filler. Hasil ekstraksi seperti tertuang dalam tabel sebagai berikut :

a) Gradasi Agregat Setelah Ekstraksi campuran dengan filler spent catalyst

No. Saringan	11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 30	# 50	# 100	# 200
Tertahan ( gr )	-	0	0	76.00	60.75	64.91	47.94	87.40	17.69	64.25	23.48
Tertahan	-	0	0	76.00	136.75	201.66	249.60	337.00	354.69	418.94	442.42
Tertahan ( % )	-	0	0	8.31	14.94	22.04	27.28	36.83	38.76	45.78	48.35
Lolos ( % )	-	100	100	91.69	85.06	77.96	72.72	63.17	61.24	54.22	51.65
JMF											
Atas											
Bawah											

Perhitungan kadar aspal :

1. Berat campuran aspal sebelum diekstraksi = 1000 gr
2. Berat sesudah diekstraksi ( Sampel + Cawan + Kertas Saring ) = 1003 gr
3. Berat Kertas Saring = 15,6 gr
4. Berat Cawan = 72,3 gr
5. Berat Sampel setelah diekstraksi (2-3-4) = 915,1 gr
6. Berat Bitumen  $((1-5)/1 \times 100)$  = 8,49 %

b) Gradasi Agregat Setelah Ekstraksi campuran dengan filler Abu Batu

No. Saringan	11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 30	# 50	# 100	# 200
Tertahan ( gr )	-	0	0	28.53	38.75	83.89	50.24	102.40	22.88	82.37	26.71
Tertahan	-	0	0	28.53	67.28	151.17	201.41	303.81	326.69	409.06	435.77
Tertahan ( % )	-	0	0.00	3.08	7.26	16.31	21.74	32.79	35.26	44.15	47.03
Lolos ( % )	-	100	100.00	96.92	92.74	83.69	78.26	67.21	64.74	55.85	52.97
JMF											
Atas											
Bawah											

Perhitungan kadar aspal :

1. Berat campuran aspal sebelum diekstraksi = 1000 gr
2. Berat sesudah diekstraksi ( Sampel + Cawan + Kertas Saring ) = 1016 gr
3. Berat Kertas Saring = 15,6 gr
4. Berat Cawan = 73,8 gr
5. Berat Sampel setelah diekstraksi (2-3-4) = 926,6 gr
6. Berat Bitumen  $((1-5)/1 \times 100)$  = 7,34 %

#### 4.1.4 Hasil Pengujian *Marshall* (2 x 75) tumbukan dan (2 x 400) tumbukan, serta Uji Perendaman Standard dan Modifikasi pada Kadar Aspal Optimum.

Proses penelitian dilanjutkan pada tahap II yaitu untuk mencari nilai karakteristik *Marshall* pada kondisi standar (2x75) tumbukan dan kepadatan membal (2x400) tumbukan serta uji perendaman standard maupun modifikasi pada durasi perendaman (0.5, 24, 48, 72 ) jam.

Pada tahap II, juga disiapkan masing-masing dua jenis benda uji untuk kondisi Dry (*Unsoaked*) dan *Soaked*, dengan pembuatan benda uji dilakukan pada kadar aspal optimum 8,375 % untuk *filler spent catalyst* dan kadar aspal optimum 7,225 % untuk *filler* konvensional pada masing-masing kandungan *dust proportion* yang berbeda, yaitu DP rendah (0,55); DP sedang (0,90) dan DP tinggi (1,25) dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.6 sampai dengan Tabel 4.13, hasil secara lengkap terdapat pada Lampiran G.

**Tabel 4.6.** Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) dengan lama perendaman 0,5 jam (standard)

No	Karakteristik	Syarat	filler Catalyst RCC Dust Proportion			filler Konvensional Dust Proportion		
			0.55	0.90	1.25	0.55	0.90	1.25
1	Density (gr/cc)	-	2,209	2,215	2,237	2,222	2,249	2,299
2	VMA (%)	min 18	24,14	23,56	22,41	23,09	22,00	20,11
3	VFA (%)	min 75	70,52	72,47	76,82	63,69	67,51	75,02
4	VIM (%)	3-6	7,61	6,93	5,56	9,01	7,70	5,44
5	Stabilitas (kg)	min 800	927	1115	907	941	884	931
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2,17	2,50	3,34	2,93	3,67	2,74
7	MQ (kg/mm)	min 200	420	437	266	315	237	333
8	Stabilitas sisa (%)	Min 80%	-	-	-	-	-	-

**Tabel 4.7.** Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) dengan lama perendaman 24 jam

No	Karakteristik	Syarat	filler Catalyst RCC Dust Proportion			filler Konvensional Dust Proportion		
			0.55	0.90	1.25	0.55	0.90	1.25
1	Density (gr/cc)	-	2,245	2,259	2,250	2,233	2,250	2,299
2	VMA (%)	min 18	22,89	22,04	21,94	22,72	21,99	20,11
3	VFA (%)	min 75	75,24	78,55	78,80	64,97	67,54	75,02
4	VIM (%)	3-6	6,09	5,08	4,99	8,56	7,69	5,45
5	Stabilitas (kg)	min 800	860	1034	843	916	850	894
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2,48	3,41	3,71	2,79	2,88	2,96
7	MQ (kg/mm)	min 200	341	298	223	323	290	296
8	Stabilitas sisa (%)	Min 80%	93	93	93	97	96	96

**Tabel 4.8.** Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) dengan lama perendaman 48 jam

No	Karakteristik	Syarat	filler Catalyst RCC Dust Proportion			filler Konvensional Dust Proportion		
			0.55	0.90	1.25	0.55	0.90	1.25
1	Density (gr/cc)	-	2,239	2,252	2,245	2,226	2,244	2,287
2	VMA (%)	min 18	23,09	22,27	22,15	22,95	22,19	20,53
3	VFA (%)	min 75	74,47	77,58	77,93	64,17	66,83	73,26
4	VIM (%)	3-6	6,33	5,36	5,24	8,84	7,92	5,94
5	Stabilitas (kg)	min 800	779	915	801	749	755	780
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2,86	3,60	3,79	2,92	3,07	3,21
7	MQ (kg/mm)	min 200	267	249	207	252	241	238
8	Stabilitas sisa (%)	Min 80%	84	82	88	80	85	84

**Tabel 4.9.** Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) dengan lama perendaman 72 jam

No	Karakteristik	Syarat	filler Catalyst RCC Dust Proportion			filler Konvensional Dust Proportion		
			0.55	0.90	1.25	0.55	0.90	1.25
1	Density (gr/cc)	-	2,237	2,247	2,240	2,217	2,236	2,248
2	VMA (%)	min 18	23,17	22,45	22,30	23,29	22,47	21,87
3	VFA (%)	min 75	74,16	76,85	77,27	63,03	65,85	68,00
4	VIM (%)	3-6	6,42	5,58	5,43	9,24	8,25	7,52
5	Stabilitas (kg)	min 800	750	889	744	568	708	760
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2,94	3,71	3,82	3,04	3,31	3,52
7	MQ (kg/mm)	min 200	250	235	191	184	210	212
8	Stabilitas sisa (%)	Min 80%	81	80	82	60	80	82

**Tabel 4.10.** Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan lama perendaman 0,5 jam

No	Karakteristik	Syarat	filler Catalyst RCC Dust Proportion			filler Konvensional Dust Proportion		
			0.55	0.90	1.25	0.55	0.90	1.25
1	Density (gr/cc)	-	2,311	2,320	2,339	2,285	2,368	2,358
2	VMA (%)	-	20,63	19,93	18,86	20,94	17,87	18,06
3	VFA (%)	-	85,11	88,38	93,96	71,56	85,69	84,74
4	VIM (%)	Min 2	3,33	2,52	1,24	6,46	2,81	3,02
5	Stabilitas (kg)	-	1686	1788	1960	1597	1971	1837
6	Kelelehan (mm)	-	1,63	3,44	1,55	1,95	1,35	1,74
7	MQ (kg/mm)	-	1017	510	1240	803	1432	1038
8	Stabilitas sisa (%)	-	-	-	-	-	-	-

**Tabel 4.11.** Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan lama perendaman 24 jam

No	Karakteristik	Syarat	filler Catalyst RCC Dust Proportion			filler Konvensional Dust Proportion		
			0.55	0.90	1.25	0.55	0.90	1.25
1	Density (gr/cc)	-	2,335	2,351	2,358	2,336	2,329	2,355
2	VMA (%)	-	19,80	18,87	18,22	19,16	19,26	18,17
3	VFA (%)	-	89,22	94,05	97,70	79,23	78,82	84,20
4	VIM (%)	Min 2	2,33	1,23	0,46	4,35	4,45	3,14
5	Stabilitas (kg)	-	1546	1753	1893	1541	1772	1786
6	Kelelehan (mm)	-	2,71	1,79	2,22	2,85	2,98	2,43
7	MQ (kg/mm)	-	560	960	836	530	583	722
8	Stabilitas sisa (%)	-	92	98	97	96	90	97

**Tabel 4.12.** Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan lama perendaman 48 jam

No	Karakteristik	Syarat	filler Catalyst RCC Dust Proportion			filler Konvensional Dust Proportion		
			0.55	0.90	1.25	0.55	0.90	1.25
1	Density (gr/cc)	-	2,331	2,345	2,351	2,332	2,324	2,350
2	VMA (%)	-	19,96	19,08	18,46	19,28	19,42	18,35
3	VFA (%)	-	88,43	92,93	96,28	78,66	78,05	83,28
4	VIM (%)	Min 2	2,51	1,47	0,75	4,50	4,65	3,35
5	Stabilitas (kg)	-	1434	1702	1833	1384	1551	1602
6	Kelelehan (mm)	-	3,45	2,60	2,95	2,93	3,11	2,67
7	MQ (kg/mm)	-	407	642	609	464	490	589
8	Stabilitas sisa (%)	-	85	95	93	87	79	87

**Tabel 4.13.** Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan lama perendaman 72 jam

No	Karakteristik	Syarat	filler Catalyst RCC Dust Proportion			filler Konvensional Dust Proportion		
			0.55	0.90	1.25	0.55	0.90	1.25
1	Density (gr/cc)	-	2,324	2,341	2,344	2,322	2,312	2,344
2	VMA (%)	-	20,18	19,22	18,69	19,65	19,84	18,56
3	VFA (%)	-	87,33	92,15	94,94	76,97	76,18	82,21
4	VIM (%)	Min 2	2,78	1,64	1,03	4,94	5,14	3,61
5	Stabilitas (kg)	-	1372	1641	1775	1352	1487	1563
6	Kelelehan (mm)	-	3,60	2,80	3,14	3,11	3,20	2,82
7	MQ (kg/mm)	-	374	575	555	427	456	543
8	Stabilitas sisa (%)	-	81	92	91	85	75	85

Selanjutnya dilakukan pengujian perendaman standard (menghitung Indeks Stabilitas Sisa) dan pengujian perendaman modifikasi (menghitung Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua). Perhitungan sesuai persamaan 3.12, 2.13, dan 2.14 dengan hasil seperti terlihat pada Tabel 4.14 sampai dengan Tabel 4.19.

**Tabel 4.14.** Hasil Pengujian Stabilitas dan IRS pada Perendaman standard Tahap II terhadap variasi Dust Proportion untuk masing-masing jenis filler pada kondisi standard (2 x 75) tumbukan.

Filler yang digunakan	Dust Proportion ( DP )	Perendaman 0,5 jam		Perendaman 24 jam		Perendaman 48 jam		Perendaman 72 jam	
		Stab (kg)	IRS (%)	Stab (kg)	IRS (%)	Stab (kg)	IRS (%)	Stab (kg)	IRS (%)
Filler <i>Spent Catalyst</i> RCC	0,55	926,75	-	860,03	93	779,25	84	749,76	81
	0,90	1114,56	-	1033,92	93	914,88	82	888,96	80
	1,25	907,23	-	842,88	93	801,12	88	744,06	82
Filler Konvensional	0,55	940,80	-	916,34	97	748,85	80	568,23	60
	0,90	884,16	-	849,95	96	755,04	85	708,00	80
	1,25	930,72	-	894,24	96	780,48	84	759,84	82

**Tabel 4.15.** Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama dan Kedua pada kondisi standard (2x75) tumbukan menggunakan *filler spent catalyst* RCC.

Jenis filler yang digunakan	Dust Proportion (DP)	Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
			r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100 - a) %	A (kg)	SA = (So - A) kg
Spent Catalyst RCC	0,55	0,5am	0		0		0		100	0	926,745
		24jam	0,306	0,306	2,839	2,839	3,525	3,525	96,475	32,665	894,080
		48jam	0,335	0,641	3,105	5,944	7,875	11,400	88,600	105,644	821,101
		72 jam	0,267	0,909	2,475	8,420	9,482	20,882	79,118	193,522	733,223
		Total	0,909		8,420		20,882		79,118	193,522	733,223
	0,90	0,5am	0		0		0		100	0	1114,560
		24jam	0,308	0,308	3,431	3,431	3,542	3,542	96,458	39,480	1075,080
		48jam	0,377	0,685	4,204	7,635	8,864	12,407	87,593	138,280	976,280
		72 jam	0,283	0,968	3,155	10,791	10,050	22,457	77,543	250,297	864,263
		Total	0,968		10,791		22,457		77,543	250,297	864,263
	1,25	0,5am	0		0		0		100	0	907,230
		24jam	0,302	0,302	2,738	2,738	3,473	3,473	96,527	31,505	811,375
		48jam	0,246	0,548	2,234	4,972	5,787	9,260	90,740	84,007	717,113
		72 jam	0,252	0,800	2,282	7,254	8,930	18,190	81,810	165,025	579,035
		Total	0,800		7,254		18,190		81,810	165,025	742,205

**Tabel 4.16.** Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama dan Kedua pada kondisi standard (2x75) tumbukan menggunakan *filler* Abu Batu Konvensional.

Jenis filler yang digunakan	Dust Proportion (DP)	Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
			r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100 - a) %	A (kg)	S <sub>A</sub> = (So - A) kg
Abu Batu Konvensional	0,55	0,5am	0		0		0		100	0	940,800
		24jam	0,111	0,111	1,041	1,041	1,273	1,273	98,727	11,978	928,822
		48jam	0,430	0,540	4,041	5,082	10,095	11,369	88,631	106,955	833,845
		72 jam	0,554	1,094	5,211	10,293	19,663	31,032	68,968	291,947	648,853
		Total	1,094		10,293		31,032		68,968	291,947	648,853
	0,90	0,5am	0		0		0		100	0	884,160
		24jam	0,165	0,165	1,456	1,456	1,895	1,895	98,105	16,751	867,409
		48jam	0,307	0,472	2,718	4,174	7,226	9,120	90,880	80,639	803,521
		72 jam	0,279	0,751	2,464	6,638	9,893	19,013	80,987	168,107	716,053
		Total	0,751		6,638		19,013		80,987	168,107	716,053
	1,25	0,5am	0		0		0		100	0	930,720
		24jam	0,167	0,167	1,552	1,552	1,919	1,919	98,081	17,860	912,860
		48jam	0,340	0,507	3,163	4,715	7,987	9,906	90,094	92,197	838,523
		72 jam	0,257	0,763	2,390	7,105	9,116	19,022	80,978	177,044	753,676
		Total	0,763		7,105		19,022		80,978	177,044	753,676

**Tabel 4.17.** Hasil Pengujian Stabilitas dan IRS pada Perendaman standard Tahap II terhadap variasi Dust Proportion untuk masing-masing jenis filler pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) tumbukan.

Filler yang digunakan	Dust Proportion ( DP )	Perendaman 0,5 jam		Perendaman 24 jam		Perendaman 48 jam		Perendaman 72 jam	
		Stab (kg)	IRS (%)	Stab (kg)	IRS (%)	Stab (kg)	IRS (%)	Stab (kg)	IRS (%)
Filler <i>Spent Catalyst</i> RCC	0,55	1685,50	-	1546,46	92	1433,64	85	1372,28	81
	0,90	1788,00	-	1752,92	98	1702,48	95	1641,12	92
	1,25	1960,40	-	1893,32	97	1832,84	93	1775,28	91
Filler Konvensional	0,55	1597,44	-	1540,50	96	1384,00	87	1351,50	85
	0,90	1971,32	-	1772,00	90	1551,00	79	1486,50	75
	1,25	1837,16	-	1785,54	97	1601,60	87	1562,60	85

**Tabel 4.18.** Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) tumbukan menggunakan *filler spent catalyst* RCC.

Jenis filler yang digunakan	Dust Proportion (DP)	Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
			r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100 - a) %	A (kg)	S <sub>A</sub> = (So - A) kg
Spent Catalyst RCC	0,55	0,5am	0		0		0		100	0	1685,500
		24jam	0,351	0,351	5,917	5,917	4,039	4,039	95,961	68,072	1617,428
		48jam	0,315	0,666	5,302	11,219	7,394	11,432	88,568	192,690	1492,810
		72 jam	0,260	0,926	4,381	15,600	9,227	20,659	79,341	348,212	1337,288
		Total	0,926		15,600		20,659		79,341	348,212	1337,288
	0,90	0,5am	0		0		0		100	0	1788,000
		24jam	0,083	0,083	1,493	1,493	0,961	0,961	99,039	17,175	1770,825
		48jam	0,101	0,184	1,800	3,293	2,367	3,327	96,673	59,489	1728,511
		72 jam	0,115	0,299	2,054	5,347	4,079	7,406	92,594	132,419	1655,581
		Total	0,299		5,347		7,406		92,594	132,419	1655,581
	1,25	0,5am	0		0		0		100	0	1960,400
		24jam	0,146	0,146	2,854	2,854	1,675	1,675	98,325	32,841	1927,559
		48jam	0,137	0,283	2,685	5,540	3,220	4,895	95,105	95,957	1864,443
		72 jam	0,132	0,415	2,589	8,129	4,689	9,583	90,417	187,874	1772,526
		Total	0,415		8,129		9,583		90,417	187,874	1772,526

**Tabel 4.19.** Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama dan Kedua pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) tumbukan menggunakan *filler* Abu Batu Konvensional.

Jenis filler yang digunakan	Dust Proportion (DP)	Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
			r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100 - a) %	A (kg)	S <sub>A</sub> = (So - A) kg
Abu Batu Konvensional	0,55	0,5am	0,0		0,0		0,0		100,0	0,0	1597,440
		24jam	0,152	0,152	2,423	2,423	1,745	1,745	98,255	27,877	1569,563
		48jam	0,281	0,433	4,493	6,916	6,611	8,356	91,644	133,485	1463,955
		72 jam	0,215	0,648	3,440	10,356	7,644	16,001	83,999	255,601	1341,839
		Total	0,648		10,356		16,001		83,999	255,601	1341,839
	0,90	0,5am	0		0		0		100	0	1971,320
		24jam	0,430	0,430	8,482	8,482	4,950	4,950	95,050	97,584	1873,736
		48jam	0,449	0,879	8,849	17,331	10,550	15,500	84,500	305,555	1665,765
		72 jam	0,344	1,223	6,781	24,111	12,211	27,711	72,289	546,281	1425,039
		Total	1,223		24,111		27,711		72,289	546,281	1425,039
	1,25	0,5am	0		0		0		100	0	1837,160
		24jam	0,120	0,120	2,197	2,197	1,376	1,376	98,624	25,272	1811,888
		48jam	0,270	0,390	4,959	7,156	6,344	7,720	92,280	141,825	1695,335
		72 jam	0,209	0,599	3,840	10,996	7,421	15,140	84,860	278,152	1559,008
		Total	0,599		10,996		15,140		84,860	278,152	1559,008

Keterangan :

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i}$$

$$R = (r / 100) * So$$

$$a = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})]$$

$$Sa = (100 - a)$$

$$A = (a / 100) * So$$

$$S_A = So - A$$

## 4.2 Pembahasan

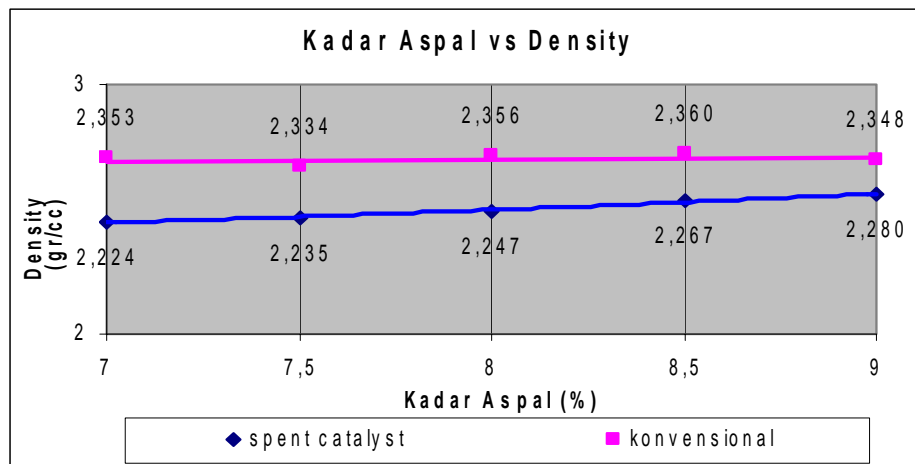
### 4.2.1. Karakteristik Campuran HRS-WC

- a. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Density* campuran HRS-WC.

Nilai *Density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat, dibandingkan pada campuran yang mempunyai *density* rendah. Nilai *density* suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas bahan susun dan cara pemadatan. Suatu campuran akan memiliki *density* yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam, kadar aspal tinggi, porositas butiran rendah. Hubungan antara kadar aspal dengan *density* campuran HRS-WC pada masing-masing penggunaan jenis *filler spent catalyst* RCC dan *filler* abu batu konvensional dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.3 dibawah ini.

**Tabel 4.20.** Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Density Campuran HRS-WC dengan *Filler Spent Catalyst* dan Abu Batu

Jenis <i>Filler</i>	Spesifikasi (gr/cc)	Nilai Density (gr/cc) pada Variasi Kadar Aspal (%)				
		7	7.5	8	8.5	9
<i>Spent Catalyst</i>	-	2,224	2,235	2,247	2,267	2,280
Konvensional	-	2,353	2,334	2,356	2,360	2,348



**Gambar 4.3.** Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs *Density*



Seperti terlihat pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.3 untuk masing-masing jenis *filler* yang digunakan semakin bertambahnya kadar aspal, nilai densitinya semakin besar sehingga campurannya cenderung lebih rapat. Hal ini disebabkan karena setiap penambahan kadar aspal, rongga dalam campuran masih dapat terisi oleh aspal sehingga campuran menjadi semakin rapat. Dalam spesifikasi baru tidak ada persyaratan khusus mengenai tingkat *density*. Pada umumnya nilai *density* dipergunakan dalam persyaratan teknis dilapangan dimana *density* rerata lapisan yang telah selesai dipadatkan tidak boleh kurang dari 96 %, *density* laboratorium sebagai acuan disarankan tingkat *density* > 2 gr/cc.

Tingkat kepadatan menggunakan *filler spent catalyst* RCC cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan *filler* abu batu konvensional, prosentase selisih reratanya adalah sekitar 4,24 %.

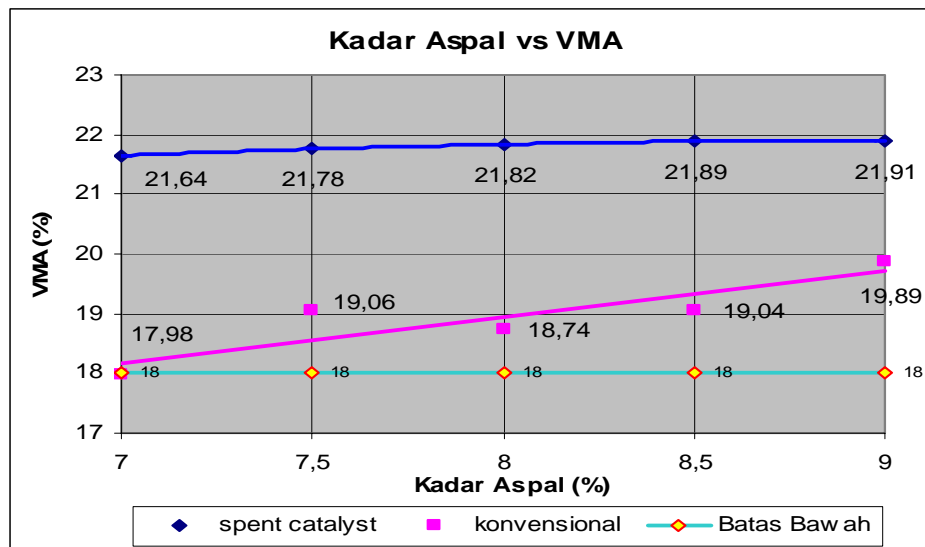
Hal ini dimungkinkan karena adanya kandungan logam pada *filler spent catalyst* RCC sehingga ikatan antara aspal dengan katalis pada proses pemadatan menyebabkan tertutupnya pori dalam *filler spent catalyst* (Laporan Perkembangan Studi Pemanfaatan Spent Catalyst, Desember 2000).

b. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void in Mineral Agregate (VMA)* campuran *HRS-WC*

*Void in Mineral Agregate (VMA)* adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. *VMA* dinyatakan dalam prosentase dari campuran beraspal panas. *VMA* digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori. Hubungan antara kadar aspal dengan *VMA* campuran *HRS-WC* pada masing-masing penggunaan jenis *filler spent catalyst* RCC dan *filler* abu batu konvensional dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.4 dibawah ini.

**Tabel 4.21** Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai VMA Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu

Jenis <i>Filler</i>	Spesifikasi (%)	Nilai VMA pada Variasi Kadar Aspal ( % )				
		7	7.5	8	8.5	9
<i>Spent Catalyst</i>	Min 18	21,64	21,78	21,82	21,89	21,91
Konvensional	Min 18	17,98	19,06	18,74	19,04	19,89



**Gambar 4.4.** Grafik hubungan Kadar Aspal vs VMA

Dari Tabel 4.21. dan Gambar 4.4. dapat diketahui bahwa dari hasil grafik regresi semua campuran HRS WC dengan menggunakan *filler spent catalyst* RCC maupun *filler* abu batu konvensional memenuhi syarat ( $\geq 18\%$ ). Nilai VMA semakin besar seiring bertambahnya kadar aspal. Nilai VMA terendah pada campuran yang menggunakan filler abu batu konvensional pada kadar aspal 7% (17,98%), demikian halnya untuk campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC terendah juga pada kadar aspal 7% (21,64%). Sedangkan untuk nilai VMA tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC dengan kadar aspal 9% (21,91%), begitu juga dengan filler abu batu konvensional dengan kadar aspal 9 % (19,89%). Dari hasil diatas didapatkan nilai prosentase selisih reratanya antara *filler spent catalyst* RCC dengan *filler* abu batu konvensional sebesar 13,14 %.

Hal ini terjadi dikarenakan kandungan kimia filler *spent catalyst* yang bereaksi dengan aspal sehingga mengakibatkan nilai VMA lebih tinggi jika digunakan filler Abu Batu konvensional. Dari buku Laporan Perkembangan Studi Pemanfaatan Spent Catalyst, Desember 2000 disebutkan bahwa dengan asumsi terburuk (campuran aspal hancur) maka logam yang terkandung dalam spent catalyst tidak akan ter-leaching.

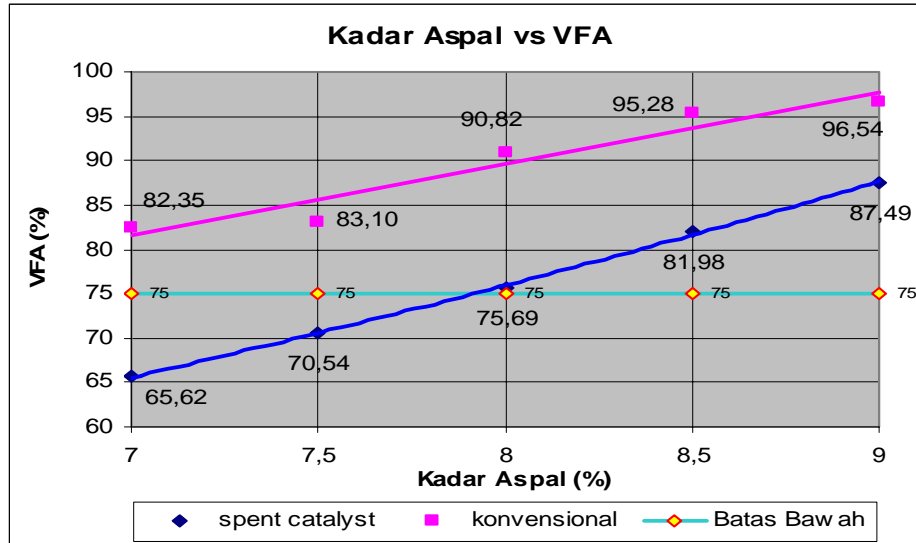
- c. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void Filled with Asphalt (VFA)* campuran *HRS-WC*.

Nilai *VFA* menunjukkan prosentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai *VFA* menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai *VFA* akan menunjukkan semakin kecil nilai *VIM* yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran beraspal panas akan semakin awet tetapi dapat berpotensi jadi *bleeding*. Begitu sebaliknya apabila *VFA* terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan tipis yang menyebabkan campuran beraspal panas tidak awet.

Hubungan antara kadar aspal dengan *VFA* campuran *HRS-WC* pada masing-masing penggunaan jenis *filler spent catalyst* RCC dan *filler* abu batu konvensional dapat dilihat pada Tabel 4.22 dan Gambar 4.5 dibawah ini.

**Tabel 4.22** Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai *VFA* Campuran *HRS-WC* dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu

Jenis <i>Filler</i>	Spesifikasi (%)	Nilai <i>VFA</i> pada Variasi Kadar Aspal ( % )				
		7	7.5	8	8.5	9
<i>Spent Catalyst</i>	Min 75	65.62	70.54	75.69	81.98	87.49
Konvensional	Min 75	82.35	83.10	90.82	95.28	96.54



**Gambar 4.5.** Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs VFA

Dari Tabel 4.22 dan Gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *HRS-WC* pada masing-masing penggunaan jenis *filler spent catalyst* RCC ataupun *filler* abu batu konvensional mempunyai nilai VFA naik seiring bertambahnya kadar aspal, hal ini disebabkan rongga dalam campuran mengecil karena bertambahnya kadar aspal yang meresap dan menyelimuti butiran agregat. Nilai VFA menunjukkan perbandingan jumlah kandungan aspal dan jumlah kandungan rongga didalam campuran. Nilai VFA yang rendah berarti jumlah aspal efektif yang mengisi rongga – rongga antar butir agregat sedikit, berarti rongga udaranya besar. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran. Sebaliknya nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding* karena rongga antar butiran terlalu kecil.

Nilai VFA untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional lebih besar dari pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC, berarti campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional mempunyai rongga terisi aspal yang lebih banyak sehingga menghasilkan campuran yang lebih *durable*.

Sedangkan campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* pada kadar aspal 7 % dan 7,5 % menghasilkan nilai VFA yang rendah (dibawah ambang batas Spesifikasi), hal ini menggambarkan bahwa campuran tersebut tidak mempunyai ruang/ rongga yang cukup untuk terisi aspal, sehingga campuran

bersifat porous dan kerekatan antar agregat berkurang yang akan berpengaruh terhadap durabilitas campuran.

Nilai VFA terbesar dihasilkan dari *filler* abu batu konvensional pada kadar aspal 9 % dengan besaran 96,54 %. Demikian juga dengan *filler spent catalyst* RCC nilai VFA terbesar dihasilkan dari kadar aspal 9 % dengan besaran 87,49 %.

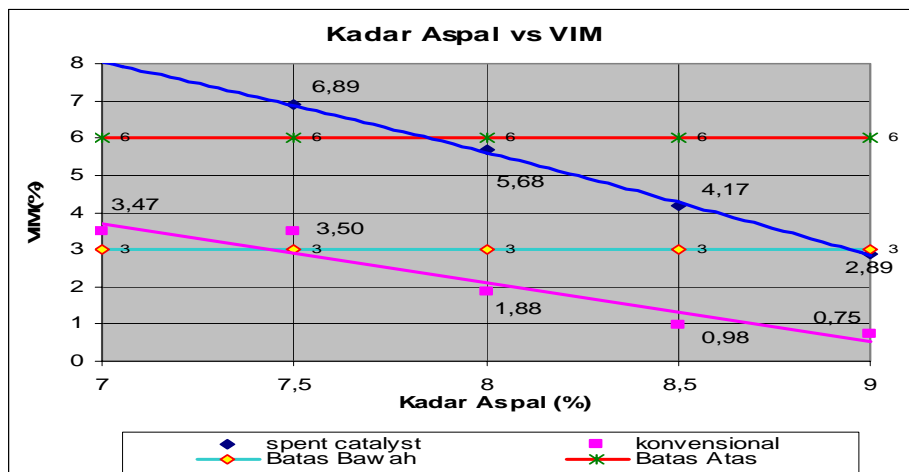
d. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void In the Mix (VIM)* campuran *HRS-WC*

*VIM* menyatakan banyaknya prosentase rongga dalam campuran total. Nilai rongga dalam campuran dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran beraspal panas, dengan bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butiran agridat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran semakin berkurang.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VIM* dapat dilihat pada Tabel 4.23, dan Gambar 4.6 dibawah ini :

**Tabel 4.23.** Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai *VIM* Campuran *HRS-WC* dengan *Filler Spent Catalyst* dan Abu Batu

Jenis <i>Filler</i>	Spesifikasi (%)	Nilai <i>VIM</i> pada Variasi Kadar Aspal ( % )				
		7	7.5	8	8.5	9
<i>Spent Catalyst</i>	3 - 6	8.03	6.89	5.68	4.17	2.89
Konvensional	3 - 6	3.47	3.50	1.88	0.98	0.75



**Gambar 4.6.** Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs *VIM*

Dari Tabel 4.23 dan Gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa nilai *VIM* pada campuran dengan menggunakan *filler* abu batu konvensional yang memenuhi syarat spesifikasi adalah pada kadar aspal 7 % dan 7,5 % saja, selebihnya pada kadar aspal 8 % s/d 9 % lebih besar dari 3 % sebagai syarat nilai *VIM* yang diperbolehkan, selebihnya tidak memenuhi syarat dikarenakan campuran terlalu banyak terisi aspal dan dapat mengakibatkan bleeding. Sedangkan nilai *VIM* dengan menggunakan filler *spent catalyst* RCC yang memenuhi syarat *VIM* <sub>3-6</sub> adalah pada kadar aspal 8% (5,68) dan 8,5% (4,17). Nilai *VIM* yang dihasilkan oleh campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC lebih tinggi dari pada campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional. Hal ini disebabkan kebutuhan aspal untuk menyelimuti material dengan filler *spent catalyst* lebih banyak yang dimungkinkan karena adanya pengaruh kimia yang terkandung dalam katalis. Nilai *VIM* yang terlalu rendah berarti rongga pada campuran relatif kecil, menjadikan tidak tersedianya ruang yang cukup, menyebabkan aspal akan naik ke permukaan (*bleeding*) apabila mendapat pengaruh beban dan tingginya suhu udara permukaan jalan. Sebaliknya untuk nilai *VIM* yang tinggi diatas 6 % akan menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara, sehingga campuran beraspal panas tersebut kurang awet dan mudah retak (*crack*).

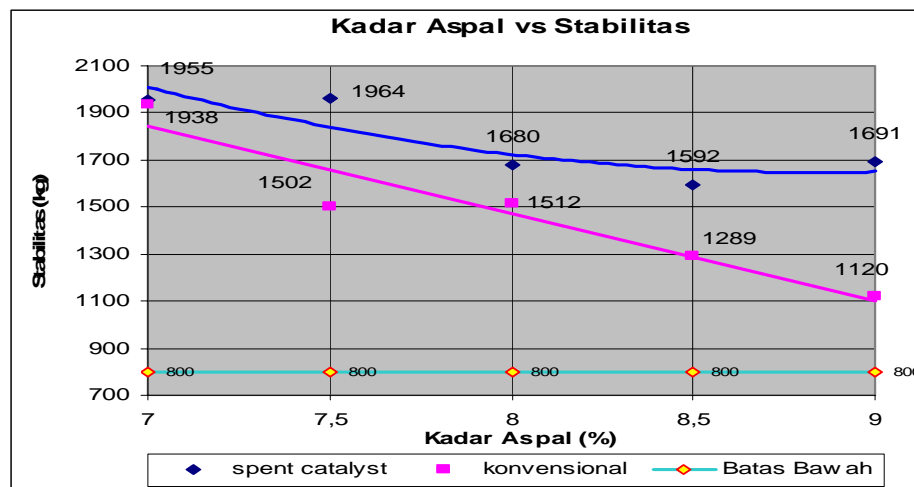
e. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Stabilitas campuran *HRS-WC*

Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat ditahan/ dipikul oleh bahan susun campuran beraspal panas yang dinyatakan dalam satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas. Spesifikasi Baru menetapkan untuk lapis Lataston *HRS-WC* yang dilalui oleh < 1.000.000 *ESA*, stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg.

Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas campuran *HRS-WC* pada masing-masing penggunaan jenis *filler spent catalyst* RCC dan *filler* abu batu konvensional dapat dilihat pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.7 dibawah ini.

**Tabel 4.24.** Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu

Jenis <i>Filler</i>	Spesifikasi (kg)	Nilai Stabilitas pada Variasi Kadar Aspal ( kg )				
		7	7.5	8	8.5	9
<i>Spent Catalyst</i>	Min 800	1955	1964	1680	1592	1691
Konvensional	Min 800	1938	1502	1512	1289	1120



**Gambar 4.7.** Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs Stabilitas

Dari Tabel 4.24 dan Gambar 4.7 diatas dapat dilihat bahwa semua campuran HRS-WC untuk masing-masing jenis *filler* yang digunakan memenuhi syarat stabilitas ( $\geq 800$  kg). Nilai stabilitas terendah terjadi pada campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional dengan kadar aspal 9% (1120 kg) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC pada kadar aspal 7,5% (1964 kg), hal ini disebabkan adanya kandungan logam dalam filler spent catalyst sehingga dapat berpengaruh terhadap stabilitas campuran.

f. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Flow* campuran HRS-WC

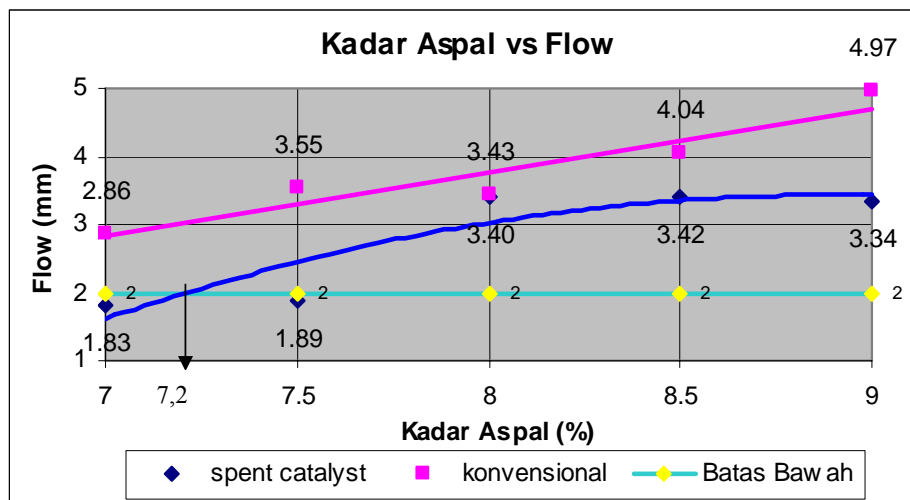
Kelelehan (*Flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *Flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas. Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji, campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas

tinggi akan cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas, sehingga akan mudah retak apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (*deformasi plastis*) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

Hubungan antara kadar aspal dengan *flow* campuran HRS-WC pada masing-masing penggunaan jenis *filler spent catalyst* RCC dan *filler* abu batu konvensional dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Gambar 4.8 dibawah ini.

**Tabel 4.25.** Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Flow Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu

Jenis <i>Filler</i>	Spesifikasi (mm)	Nilai Flow pada Variasi Kadar Aspal ( mm )				
		7	7.5	8	8.5	9
<i>Spent Catalyst</i>	2	1.83	1.89	3.40	3.42	3.34
Konvensional	2	2.86	3.55	3.43	4.04	4.97



**Gambar 4.8.** Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs Flow

Dari Tabel 4.25 dan Gambar 4.8 diatas dapat dilihat bahwa campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional pada semua kadar aspal memenuhi syarat *flow* ( $\geq 2$  mm), sedangkan campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC yang memenuhi syarat hanya pada kadar aspal 7,2 % sampai dengan 9%.



Dari Gambar 4.8 Nilai *flow* terendah yang dihasilkan dari campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC adalah pada kadar aspal 7% dengan nilai 1,83 mm, sedangkan nilai *flow* tertinggi dihasilkan oleh campuran dengan *filler* abu batu konvensional pada kadar aspal 9 % dengan nilai 4,97 mm. Hal ini disebabkan campuran dengan *filler spent catalyst* bersifat lebih kaku karena kandungan logam dalam katalis, sehingga campuran mempunyai nilai *flow* yang lebih rendah jika dibanding campuran dengan *filler* abu batu.

g. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Marshall Quotient* campuran *HRS-WC*

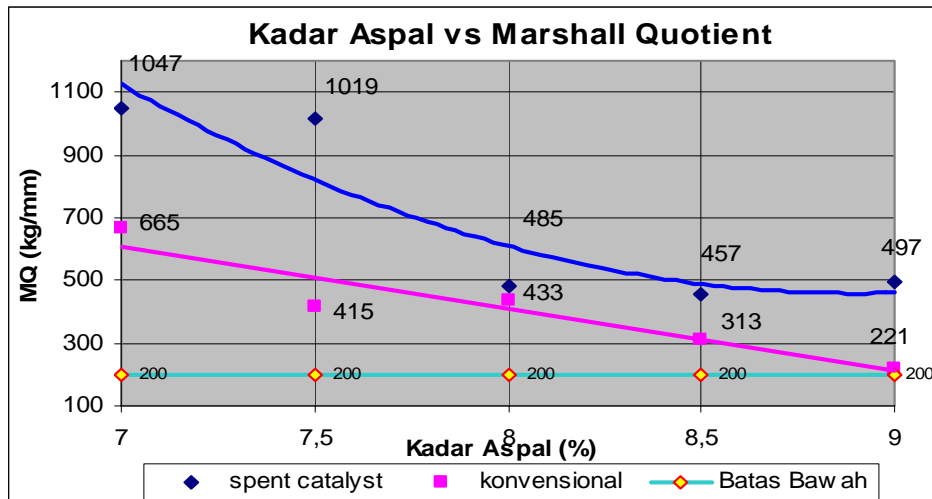
*Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai *MQ* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran (*frictional resistance*) dan saling mengunci antar butiran (*interlocking*) yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viskositas, kadar aspal, gradasi bahan susun, dan jumlah tumbukan.

Campuran yang memiliki nilai *MQ* yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki nilai *MQ* tinggi campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai *MQ* adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.

Hubungan antara kadar aspal dengan *MQ* campuran *HRS-WC* pada masing-masing penggunaan jenis *filler spent catalyst* RCC dan *filler* abu batu konvensional dapat dilihat pada Tabel 4.26 dan Gambar 4.9 dibawah ini.

**Tabel 4.26.** Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai MQ Campuran *HRS-WC* dengan *Filler Spent Catalyst* dan Abu Batu

Jenis <i>Filler</i>	Spesifikasi (kg/mm)	Nilai MQ pada Variasi Kadar Aspal ( kg/mm )				
		7	7.5	8	8.5	9
<i>Spent Catalyst</i>	Min 200	1047	1019	485	457	497
Konvensional	Min 200	665	415	433	313	221



**Gambar 4.9.** Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs *Marshall Quotient*

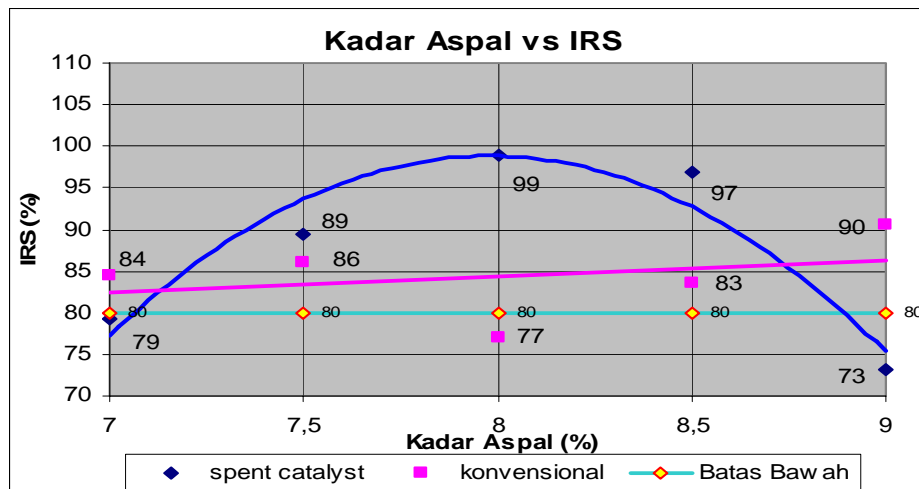
Dari Tabel 4.23. dan Gambar 4.8. diatas dapat dilihat bahwa semua campuran HRS-WC untuk berbagai jenis penggunaan *filler* memenuhi syarat *Marshall Quotient* ( $\geq 200$  kg/mm). Nilai *Marshall Quotient* cenderung semakin rendah seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai *Marshall Quotient* terendah dihasilkan oleh campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional pada kadar aspal 9 % (221 kg/mm) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC pada kadar aspal 7% (1047 kg/mm). Hal tersebut diindikasikan oleh pengaruh logam ataupun zat-zat kimia yang terkandung dalam campuran dengan *filler spent catalyst*.

#### h. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*) campuran HRS-WC

Nilai Indeks Stabilitas Sisa diperoleh dengan membandingkan antara nilai stabilitas pada kondisi standar yaitu direndam dalam *water bath* pada suhu  $60^{\circ}$  C selama 30 (tiga puluh) menit dengan kondisi perendaman yang sama selama 24 (dua puluh empat) jam, hal ini mengindikasikan pendekatan terhadap keawetan (durabilitas) standar dari suatu campuran beraspal panas. Hubungan antara kadar aspal dengan *IRS* campuran HRS-WC pada masing-masing penggunaan jenis *filler spent catalyst* RCC dan *filler* abu batu konvensional dapat dilihat pada Tabel 4.27 dan Gambar 4.10 dibawah ini.

**Tabel 4.27.** Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai IRS Campuran HRS-WC dengan Filler Spent Catalyst dan Abu Batu

Jenis <i>Filler</i>	Spesifikasi (%)	Nilai IRS pada Variasi Kadar Aspal (%)				
		7	7.5	8	8.5	9
<i>Spent Catalyst</i>	Min 80	79	89	99	97	73
Konvensional	Min 80	84	86	77	83	90



**Gambar 4.10.** Grafik hubungan antara Kadar Aspal vs IRS

Dari Tabel 4.27 dan Gambar 4.10 diatas dapat dilihat bahwa semua campuran HRS-WC yang menggunakan *filler* abu batu konvensional memenuhi syarat IRS ( $\geq 80\%$ ). Sedangkan campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC pada kadar aspal 7% (79 %) dan 9% (73 %) tidak memenuhi syarat IRS. Nilai IRS tertinggi dihasilkan oleh campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC dengan kadar aspal 8% dengan nilai 99%.

Dari hasil grafik didapatkan nilai IRS yang meningkat pada campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Dari hasil diatas menunjukkan bahwa untuk campuran dengan *filler* abu batu konvensional mampu menahan kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh air (*durable*), sedangkan pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC hanya pada kadar aspal 7,5% - 8,5% yang mampu menahan kerusakan yang diakibatkan oleh air selama masa perendaman. Hal tersebut dipengaruhi oleh karakteristik campuran dengan spent catalyst.

#### **4.2.2 Evaluasi Hasil laboratorium terhadap Karakteristik Campuran HRS-WC Tahap I terhadap Spesifikasi**

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 (*filler spent catalyst* RCC) Gambar 4.2 (*filler* abu batu konvensional), didapatkan karakteristik campuran aspal panas yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC yang memenuhi syarat untuk  $VMA_{>18\%}$  pada kadar aspal 7% - 9%,  $VFA_{>75\%}$  pada kadar aspal 8% - 9% dan  $VIM = 3\%-6\%$  pada kadar aspal 8% - 8,5%, dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *IRS* yang telah memenuhi persyaratan, maka ditentukan kadar aspal optimum 8,375 %. Sedangkan untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional yang memenuhi syarat untuk  $VMA_{>18\%}$  pada kadar aspal 7,5% - 9%,  $VFA_{>75\%}$  pada kadar aspal 7% - 9% dan  $VIM = 3\%-6\%$  pada kadar aspal 7% - 7,5%, dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *IRS* yang telah memenuhi persyaratan, maka ditentukan kadar aspal optimum 7,225%.

Selanjutnya dilaksanakan pembahasan Tahap kedua untuk mencari sifat-sifat *Marshall* dan Perendaman Modifikasi campuran pada kadar aspal optimum dengan membuat variasi lama perendaman (24, 48 dan 72) jam pada tumbukan standard (2 x 75) tumbukan, serta campuran pada *refusal density* (2 x 400) tumbukan dengan 2 (dua) variabel jenis *filler* yang digunakan (*filler* abu batu konvensional dan *filler spent catalyst*).

#### **4.2.3 Karakteristik Marshall Tahap II pada kondisi standard dan kondisi Refusal Density terhadap lama perendaman.**

##### **1. Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *density* pada variasi lama perendaman.**

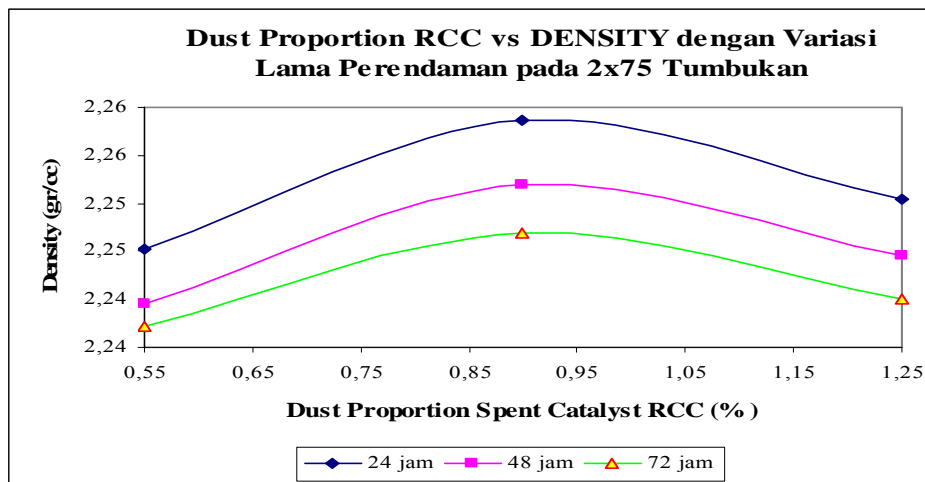
Faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah temperatur pemadatan, gradasi, kadar *filler*, energi pemadat, kadar aspal, dan porositas butiran. Campuran dengan kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih tinggi.

##### **a. Pada kondisi standard (2x75) tumbukan**

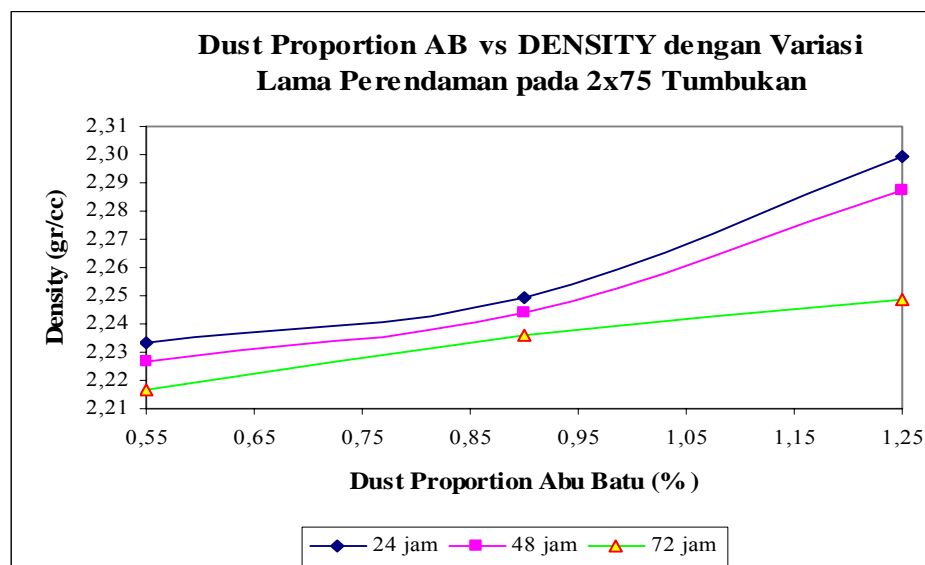
Nilai *density* pada kondisi standard (2x75) dapat dilihat pada Tabel 4.28 dan Gambar 4.11 sampai dengan Gambar 4.12 berikut ini :

**Tabel 4.28.** Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *density* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Jenis Filler	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	Density (gr/cc)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
Spent Catalyst	0,55	A	-	2,245	2,239	2,237
	0,90	B	-	2,259	2,252	2,247
	1,25	C	-	2,250	2,245	2,240
Konvensional	0,55	X	-	2,233	2,226	2,217
	0,90	Y	-	2,250	2,244	2,236
	1,25	Z	-	2,299	2,287	2,248



**Gambar 4.11.** Pengaruh *Dust Proportion filler spent catalyst RCC* terhadap nilai *density* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)



**Gambar 4.12.** Pengaruh *Dust Proportion* Abu Batu Konvensional terhadap nilai *density* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standar (2x75)

Seperti terlihat pada Tabel 4.28 serta Gambar 4.11, nilai *density* pada kondisi standar (2x75) untuk campuran dengan menggunakan *filler spent catalyst* RCC pada variasi lama perendaman hasil tertinggi didapatkan dari dust proportion (DP) 0,90. Hal ini menggambarkan bahwa nilai *density* optimum terjadi pada variasi lama perendaman 24 jam dengan DP 0,90 sedangkan pada variasi lama perendaman 48 dan 72 jam nilai *density* mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan campuran tidak mampu untuk mempertahankan kerapatannya, sehingga menyebabkan melemahnya ikatan antar agregat dengan aspal sebagai bahan pengikat karena pengaruh rendaman air pada suhu 60°C selama masa perendaman.

Sedangkan seperti terlihat pada Tabel 4.28 serta Gambar 4.12, nilai *density* paling besar pada kondisi standar (2x75) untuk campuran dengan menggunakan *filler* abu batu konvensional dihasilkan dari nilai *dust proportion* (DP) 1,25 pada variasi lama perendaman 24 jam dengan nilai *density* menurun seiring dengan faktor lama perendaman dan kecilnya nilai prosentase DP yang digunakan.

Dari analisa diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pada campuran dengan filler Abu Batu semakin tinggi kadar dust proportion yang digunakan akan menambah nilai *density* sedangkan pada campuran dengan filler *spent catalyst*, pada range tengah kadar dust proportion (0,6 – 1,2) merupakan nilai optimum *density*. Sementara pengaruh lama perendaman akan berdampak pada penurunan nilai *density* dalam campuran pada kondisi standar.

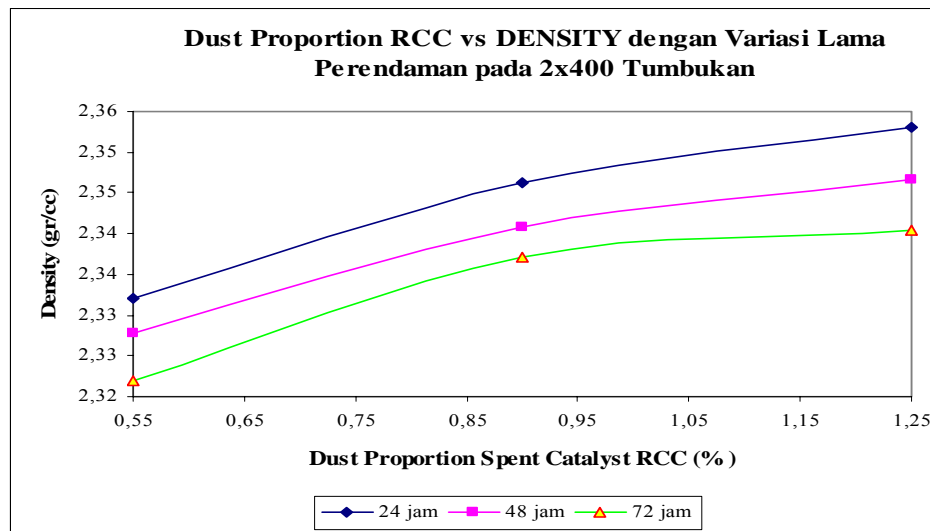
Nilai *density* optimum campuran dengan *catalyst* RCC terjadi pada DP 0,90 sedangkan campuran dengan AB konvensional terjadi pada DP 1,25.

c. Pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

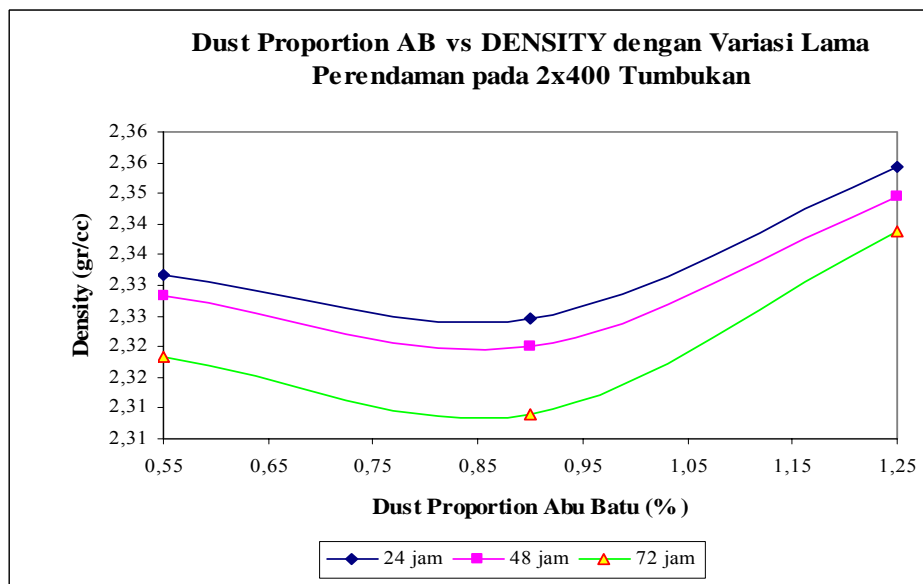
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai *Density* pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dapat dilihat pada Tabel 4.29 dan Gambar 4.13 sampai dengan Gambar 4.14 berikut ini :

**Tabel 4.29.** Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *density* dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	Density (gr/cc)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	-	2,335	2,331	2,324
	0,90	B	-	2,351	2,345	2,341
	1,25	C	-	2,358	2,351	2,344
Konvensional	0,55	X	-	2,336	2,332	2,322
	0,90	Y	-	2,329	2,324	2,312
	1,25	Z	-	2,355	2,350	2,344



**Gambar 4.13.** Pengaruh *Dust Proportion Spent Catalyst* RCC terhadap nilai *density* dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)



**Gambar 4.14.** Pengaruh *Dust Proportion Abu Batu Konvensional* terhadap nilai *density* dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density (2x400)*

Seperti terlihat pada Tabel 4.29 serta Gambar 4.13 bahwa nilai *density* optimum pada kondisi *refusal* dengan campuran menggunakan spent catalyst RCC dihasilkan dari variasi DP 1,25 dengan lama perendaman 24 jam. Nilai *density* mengalami penurunan seiring dengan variasi lama perendaman yakni pada 48 dan 72 jam. Sedangkan pada masing-masing jenis filler yang digunakan terjadi kenaikan nilai *density* seiring dengan penambahan kandungan dust proportionnya. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi refusal, kepadatan maksimal dihasilkan dari campuran dengan DP 1,25 dikarenakan semakin bertambahnya nilai *dust proportion* yang notabene semakin tinggi pula kadar *filler*-nya maka akan mengakibatkan campuran lebih padat karena *filler* akan masuk dan mengisi kedalam rongga campuran yang ada.

- c. Perbandingan nilai *density* pada variasi lama perendaman (standar dan *refusal density*) pada jenis dan variasi dust proportion.

Tabel 4.30 Perbandingan nilai *density* menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Density (gr/cc)					
			Lama Perendaman (jam)					
			24		48		72	
			2x75	2x400	2x75	2x400	2x75	2x400
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	2,245	2,335	2,239	2,331	2,237	2,324
	0,90	B	2,259	2,351	2,252	2,345	2,247	2,341



	1,25	C	2,250	2,358	2,245	2,351	2,240	2,344
Konvensional	0,55	X	2,233	2,336	2,226	2,332	2,217	2,322
	0,90	Y	2,250	2,329	2,244	2,324	2,236	2,312
	1,25	Z	2,299	2,355	2,287	2,350	2,248	2,344

Dari Tabel 4.30 terlihat bahwa nilai *density* pada kondisi *refusal density* lebih tinggi daripada kondisi standar, hal ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi akan menurunkan nilai rongga dalam campuran, sehingga air akan sulit masuk dalam campuran yang menyebabkan *density* naik. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *density*, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan campuran tidak mampu untuk mempertahankan kerapatannya, karena melemahnya ikatan antar agregat dengan aspal sebagai bahan pengikat karena pengaruh lama perendaman air.

Dapat dilihat pula bahwa nilai *density* pada campuran dengan menggunakan *filler spent catalyst* RCC lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional, kecuali pada tumbukan standar dengan DP 1,25. Hal ini disebabkan karena *filler spent catalyst* RCC bersifat independen, dalam arti tidak terpengaruh dengan material lainnya, sehingga bisa menghasilkan campuran yang lebih padat.

Nilai *density* pada kondisi *refusal density* tertinggi dihasilkan dari campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* dengan *dust proportion* 1,25. Begitu juga pada campuran dengan *filler* abu batu konvensional, nilai tertinggi dihasilkan dari campuran dengan *dust proportion* 1,25.

## 2. Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *Void in Mineral Agregate (VMA)* pada variasi lama perendaman.

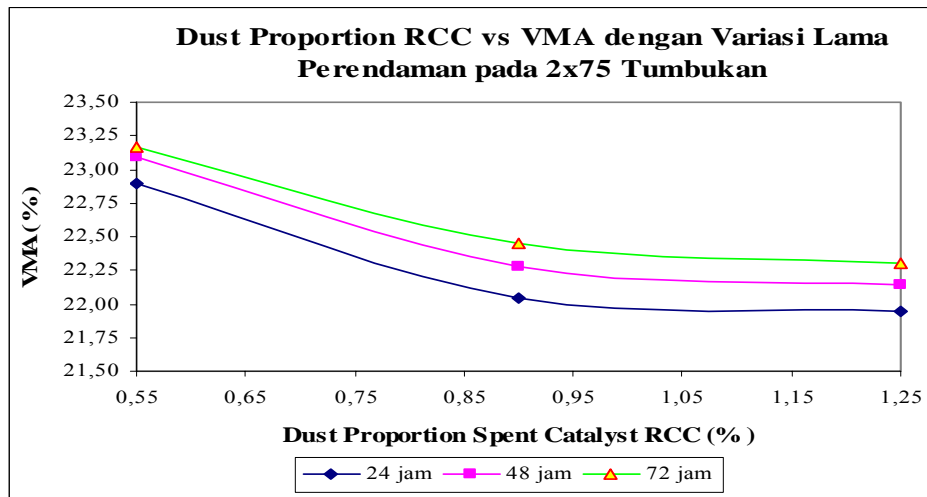
Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh *dust proportion* terhadap nilai *Void in Mineral Agregate (VMA)* pada 2 kondisi tumbukan yang berbeda, yaitu pada kondisi standar (2x75) tumbukan dan pada kondisi *refusal density* (2x400).

### a. Pada kondisi standar (2x75) tumbukan

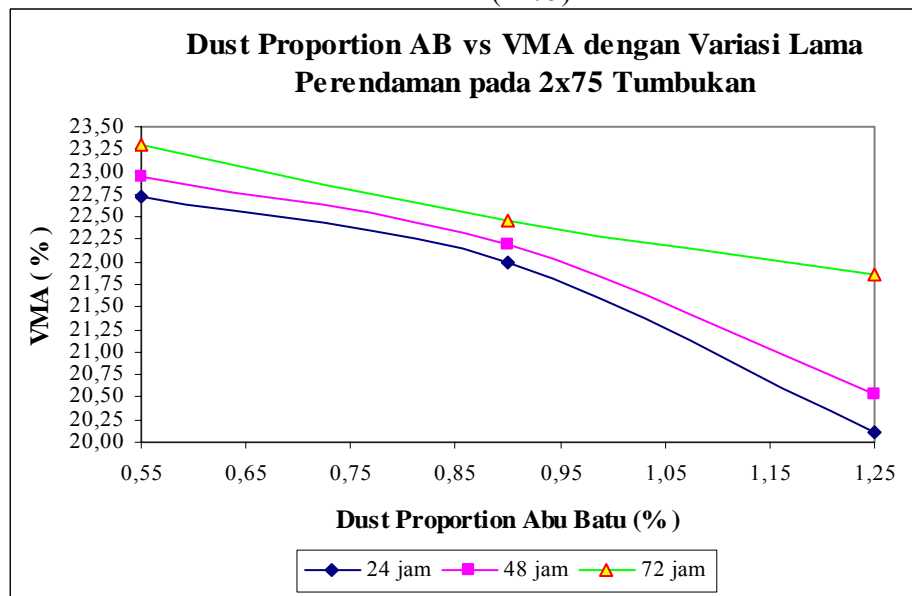
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai VMA pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dilihat pada Tabel 4.31, serta Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 berikut ini :

**Tabel 4.31.** Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai VMA dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Jenis Filler	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	VMA (%)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	Min 18	22,894	23,089	23,169
	0,90	B	Min 18	22,044	22,273	22,450
	1,25	C	Min 18	21,944	22,147	22,304
Konvensional	0,55	X	Min 18	22,717	22,950	23,292
	0,90	Y	Min 18	21,993	22,188	22,465
	1,25	Z	Min 18	20,113	20,527	21,870



**Gambar 4.15.** Pengaruh *Dust Proportion filler spent catalyst RCC* terhadap nilai VMA dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)



**Gambar 4.16.** Pengaruh *Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional* terhadap nilai *VMA* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Dari Tabel 4.31 serta Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 di atas dapat dilihat bahwa nilai *VMA* terbesar dihasilkan dari campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional dengan nilai *dust proportion* 0,55 dan terjadi pada durasi lama perendaman 72 jam dengan nilai 22,292%.

Sama halnya pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC nilai *VMA* tertinggi dihasilkan dari campuran dengan nilai *dust proportion* 0,55 dengan nilai *VMA* 22,169%. Nilai *VMA* bertambah seiring dengan durasi lama perendaman, hal ini menunjukkan bahwa rongga antar agregat terjadi pembesaran yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat kian melemah akibatnya terjadi *swelling* (mengembang). Dari data diatas juga dapat ditarik kesimpulan bahwa pada kondisi tumbukan standar, semakin besar penggunaan kadar *dust proportion* maka akan didapatkan nilai *VMA* yang rendah, sehingga akan didapatkan campuran yang mampat dengan rongga udara yang sedikit, hal tersebut disebabkan ada penyerapan aspal oleh *filler* sehingga kelebihan aspal (yang mengakibatkan *bleeding*) dapat dihindari.

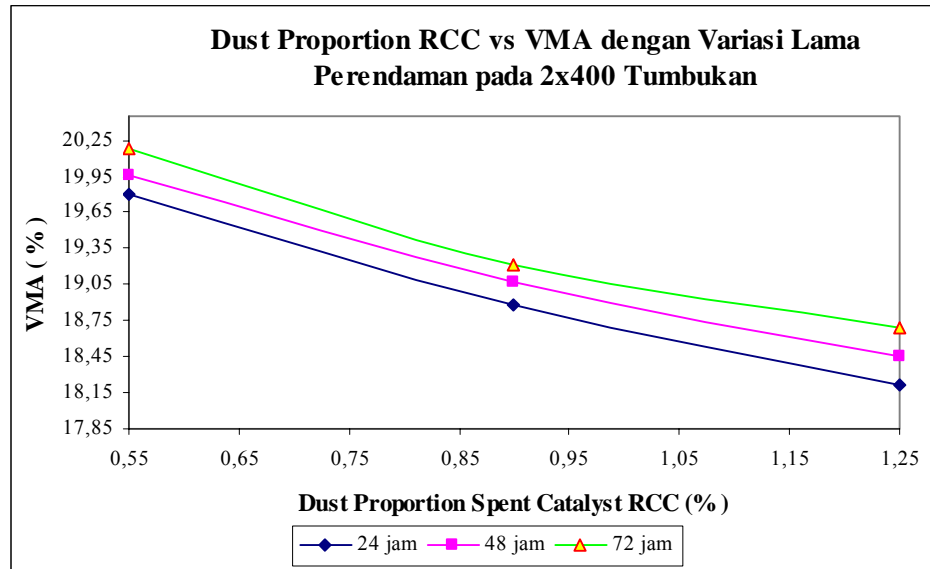
b. Pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Pengaruh penggunaan jenis *dust proportion* terhadap nilai *VMA* pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dilihat pada Tabel 4.32, serta Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 berikut ini :

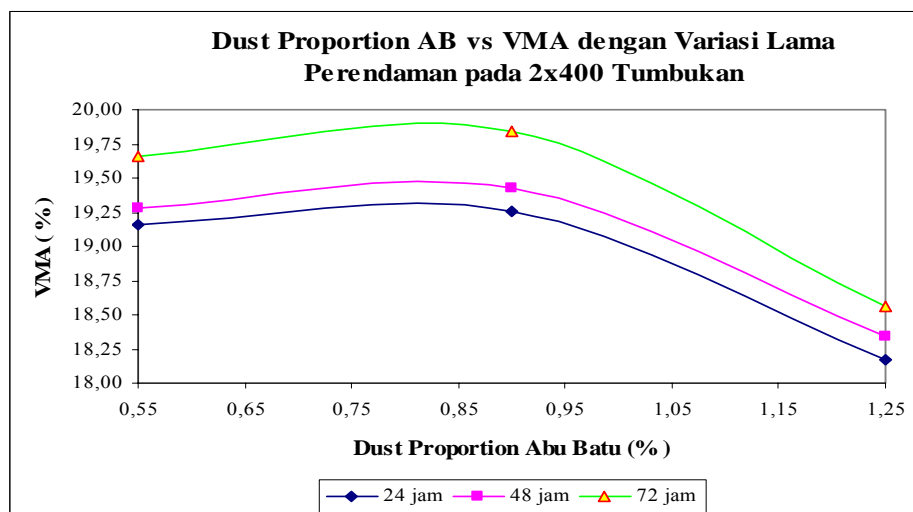
**Tabel 4.32.** Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *VMA* dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	VMA (%)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72

<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	-	19,803	19,957	20,176
	0,90	B	-	18,874	19,076	19,218
	1,25	C	-	18,218	18,458	18,688
Konvensional	0,55	X	-	19,159	19,282	19,655
	0,90	Y	-	19,257	19,424	19,839
	1,25	Z	-	18,168	18,347	18,560



**Gambar 4.17.** Pengaruh *Dust Proportion filler spent catalyst* RCC terhadap nilai VMA dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)



**Gambar 4.18.** Pengaruh *Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional* terhadap nilai VMA dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density (2x400)*

Dari Tabel 4.32 serta Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 di atas dapat dilihat bahwa nilai VMA terbesar dihasilkan dari campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional dengan nilai *dust proportion* 0,90 dan terjadi pada durasi lama perendaman 72 jam dengan nilai 19,839%.

Sedangkan pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC nilai VMA tertinggi dihasilkan dari campuran dengan nilai *dust proportion* 0,55 dengan nilai VMA 20.176%.

- c. Perbandingan nilai VMA pada variasi lama perendaman (standar dan refusal density) pada jenis dan variasi dust proportion.

Tabel 4.33 Perbandingan nilai VMA menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	VMA (%)					
			Lama Perendaman (jam)					
			24		48		72	
			2x75	2x400	2x75	2x400	2x75	2x400
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	22,894	19,803	23,089	19,957	23,169	20,176
	0,90	B	22,044	18,874	22,273	19,076	22,450	19,218
	1,25	C	21,944	18,218	22,147	18,458	22,304	18,688
Konvensional	0,55	X	22,717	19,159	22,950	19,282	23,292	19,655
	0,90	Y	21,993	19,257	22,188	19,424	22,465	19,839
	1,25	Z	20,113	18,168	20,527	18,347	21,870	18,560

Dari Tabel 4.33 di atas dapat dilihat bahwa nilai VMA terbesar dihasilkan dari campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional dengan nilai *dust proportion* 0,90 dan terjadi pada durasi lama perendaman 72 jam dengan nilai 22,908 % (pada tumbukan standar).

Sedangkan pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC nilai VMA tertinggi dihasilkan dari campuran dengan nilai *dust proportion* 0,55 dengan nilai VMA 22,465 % (pada tumbukan standar).

Nilai VMA pada kondisi refusal density lebih rendah daripada pada kondisi standar, hal ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi selanjutnya

menurunkan nilai rongga dalam campuran, yang mengakibatkan *VMA refusal density* turun.

Nilai *VMA* yang besar akan menjadikan campuran tidak stabil saat dibebani lalu lintas yang pada akhirnya akan mengakibatkan terjadi deformasi plastis, demikian sebaliknya apabila nilai *VMA* kecil akan menjadikan campuran lebih stabil dan tahan terhadap deformasi plastis. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *VMA* pada kondisi (2x75 dan refusal density (2x400) tumbukan, nilai *VMA* masih berada > 18 %.

### 3. Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *Void Filled with Asphalt (VFA)* pada variasi lama perendaman.

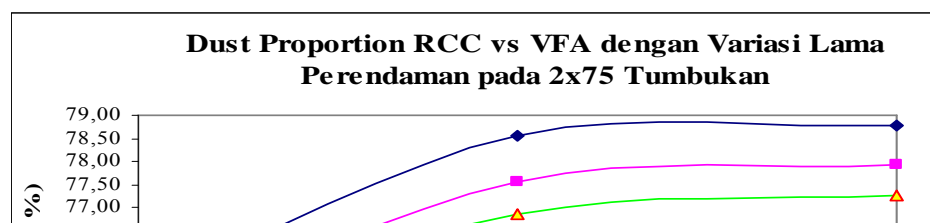
Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh dust proportion terhadap nilai *Void Filled with Asphalt (VFA)* pada 2 kondisi tumbukan yang berbeda, yaitu pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi *refusal density* (2x400).

#### a. Pada kondisi standard (2x75) tumbukan

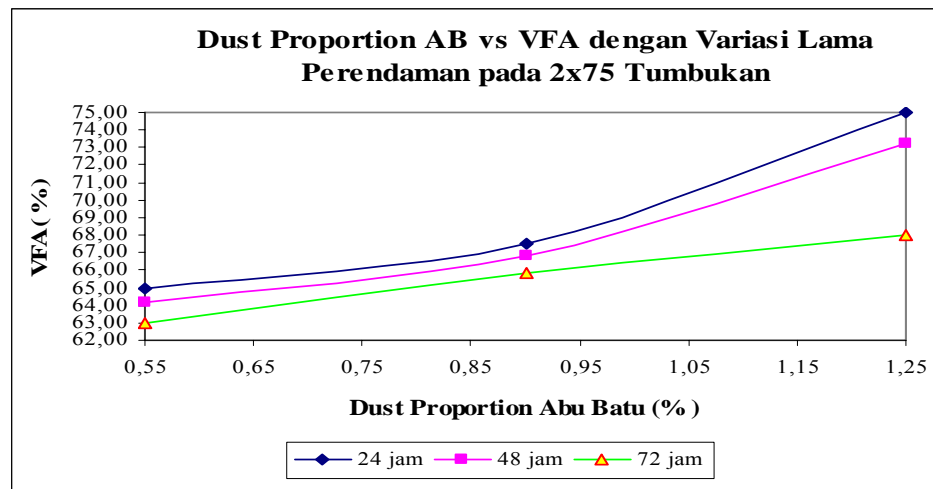
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai *VFA* pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dapat dilihat pada Tabel 4.34, Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 berikut ini :

**Tabel 4.34.** Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *VFA* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	VFA (%)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	Min 75	75,240	74,471	74,163
	0,90	B	Min 75	78,550	77,583	76,852
	1,25	C	Min 75	78,797	77,933	77,273
Konvensional	0,55	X	Min 75	64,966	64,173	63,034
	0,90	Y	Min 75	67,542	66,834	65,848
	1,25	Z	Min 75	75,016	73,265	67,999



**Gambar 4.19.** Pengaruh *Dust Proportion filler spent catalyst* RCC terhadap nilai *VFA* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)



**Gambar 4.20.** Pengaruh *Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional* terhadap nilai *VFA* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Dari Tabel 4.34 serta Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 di atas dapat dilihat bahwa Nilai *VFA* pada kondisi standar nilai tertinggi dihasilkan dari campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* dengan *dust proportion* 1,25 dan terjadi pada durasi perendaman 24 jam dengan nilai 78,797%. Sedangkan untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional nilai *VFA* tertinggi dihasilkan dari campuran dengan *dust proportion* 1,25 dengan nilai *VFA* 75,016%.

Nilai *VFA* pada campuran dengan *filler spent catalyst* lebih tinggi jika dibandingkan dengan *filler* abu batu konvensional, hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan *filler spent catalyst* lebih banyak mengandung rongga terisi

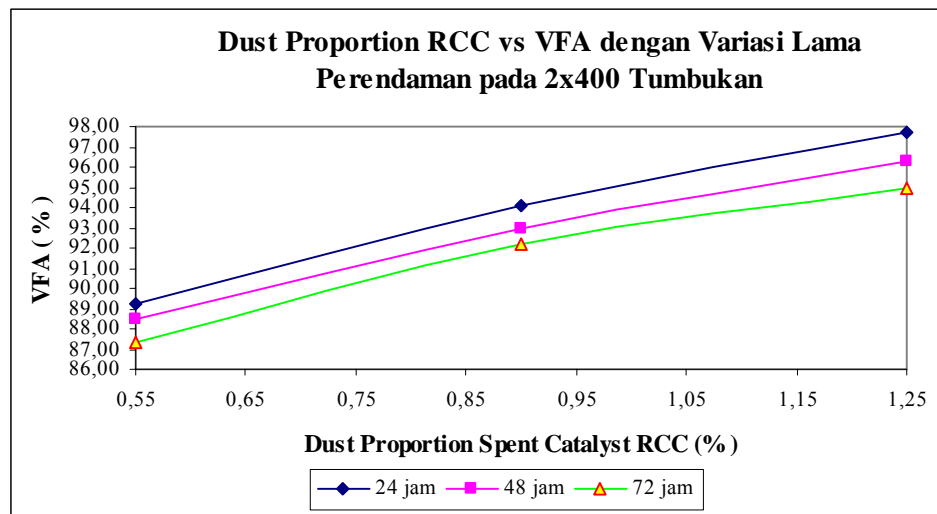
aspal sehingga campuran lebih *durable* menerima beban tanpa terjadi retak (cracking).

b. Pada kondisi *Refusal Density* (2x400) tumbukan

Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai VFA pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dapat dilihat pada Tabel 4.35, serta Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 berikut ini :

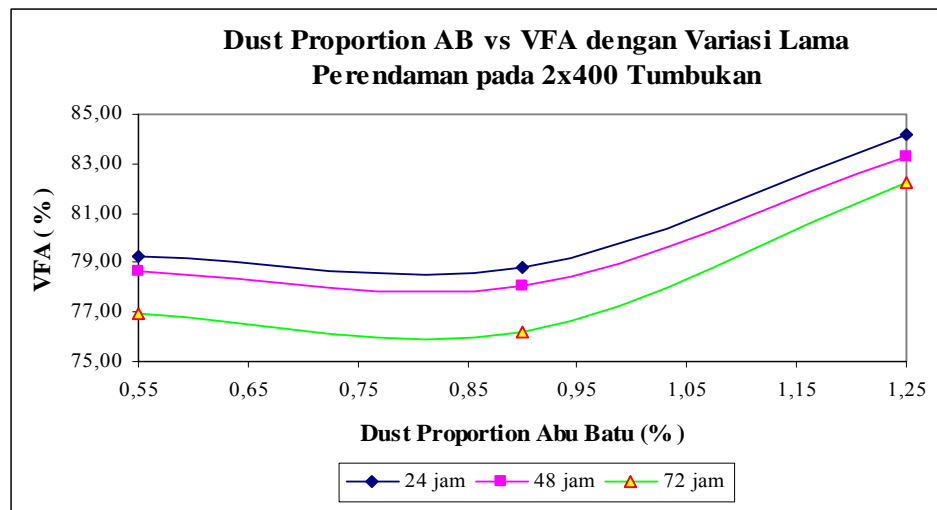
**Tabel 4.35.** Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai VFA dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	VFA (%)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	-	89,222	88,430	87,328
	0,90	B	-	94,053	92,930	92,152
	1,25	C	-	97,703	96,277	94,942
Konvensional	0,55	X	-	79,235	78,661	76,967
	0,90	Y	-	78,818	78,046	76,183
	1,25	Z	-	84,196	83,281	82,206





**Gambar 4.21.** Pengaruh *Dust Proportion filler spent catalyst* RCC terhadap nilai VFA dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)



**Gambar 4.22.** Pengaruh *Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional* terhadap nilai VFA dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Dari Tabel 4.35 serta Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 di atas dapat dilihat bahwa Nilai VFA pada kondisi *refusal density* lebih tinggi daripada kondisi standar, ini disebabkan peningkatan energi pemadatan yang lebih tinggi sehingga aspal yang memasuki rongga dalam campuran semakin banyak karena terjadi pemampatan, yang mengakibatkan VFA *refusal density* naik. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai VFA, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, menyebabkan aspal menjadi plastis, yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat melemah.

Pada kondisi *refusal density* nilai VFA tertinggi dihasilkan dari campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* RCC dengan *dust proportion* 1,25 dengan nilai 97,703%. Sedangkan untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional nilai VFA tertinggi dihasilkan dari campuran dengan nilai *dust proportion* 1,25 dengan nilai VFA 84,196%.

- c. Perbandingan nilai VFA pada variasi lama perendaman (standar dan refusal density) pada jenis dan variasi dust proportion.

Tabel 4.36 Perbandingan nilai VFA menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	VFA (%)					
			Lama Perendaman (jam)					
			24		48		72	
			2x75	2x400	2x75	2x400	2x75	2x400
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	75,240	89,222	74,471	88,430	74,163	87,328
	0,90	B	78,550	94,053	77,583	92,930	76,852	92,152
	1,25	C	78,797	97,703	77,933	96,277	77,273	94,942
Konvensional	0,55	X	64,966	79,235	64,173	78,661	63,034	76,967
	0,90	Y	67,542	78,818	66,834	78,046	65,848	76,183
	1,25	Z	75,016	84,196	73,265	83,281	67,999	82,206

Dari Tabel 4.36 diatas dapat terlihat bahwa nilai VFA tertinggi dihasilkan oleh campuran dengan menggunakan *spent catalyst* RCC pada kondisi *refusal density* dengan kadar DP 1,25 senilai 97,703 %.

Pada masing-masing kadar DP yang digunakan, nilai VFA menurun seiring dengan bertambahnya lama perendaman. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat melemah. Nilai *VFA* yang besar menunjukkan agregat terselimuti aspal secara sempurna sehingga campuran akan lebih kedap air, sehingga tidak mudah teroksidasi yang pada akhirnya akan meningkatkan durabilitas campuran, demikian sebaliknya apabila nilai *VFA* kecil kedap air campuran terhadap air akan berkurang sehingga mudah teroksidasi yang selanjutnya akan menurunkan durabilitas campuran serta akan mengakibatkan mudah terjadi deformasi plastis. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *VFA* pada kondisi refusal density (2x400) tumbukan, nilai *VFA* masih berada > 75 %.

#### 4. Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *Void in the Mix (VIM)* pada variasi lama perendaman.

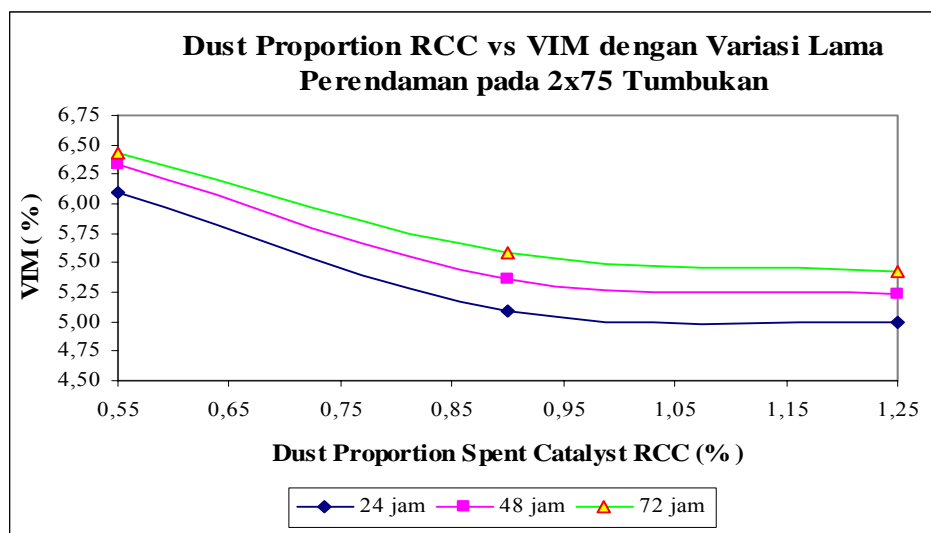
Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh dust proportion terhadap nilai *Void in the Mix (VIM)* pada 2 kondisi tumbukan yang berbeda, yaitu pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi *refusal density* (2x400).

a. Pada kondisi standard (2x75) tumbukan

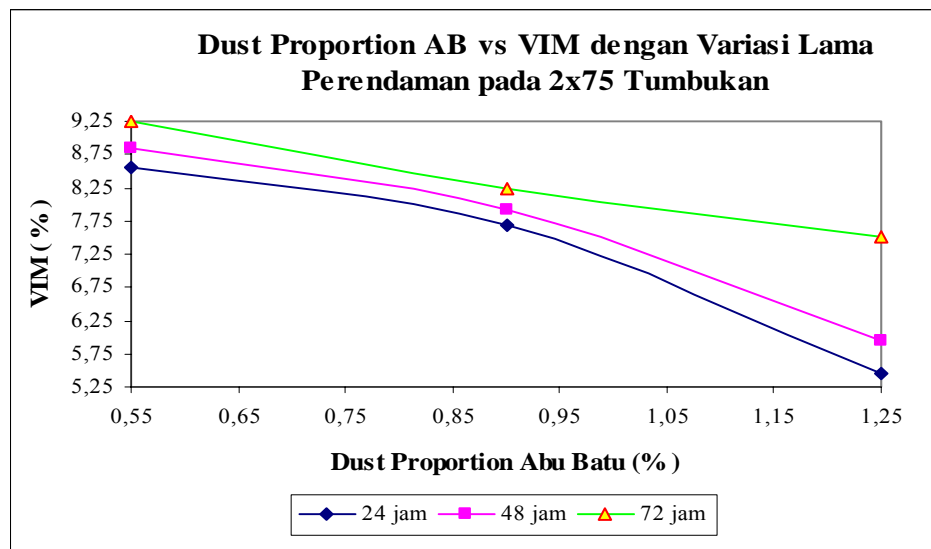
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai VIM pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dapat dilihat pada Tabel 4.37 serta Gambar 4.22, Gambar 4.23 berikut ini :

**Tabel 4.37.** Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *VIM* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	VIM (%)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	3 - 6	6,090	6,328	6,425
	0,90	B	3 - 6	5,084	5,364	5,579
	1,25	C	3 - 6	4,992	5,239	5,431
Konvensional	0,55	X	3 - 6	8,564	8,839	9,244
	0,90	Y	3 - 6	7,688	7,919	8,247
	1,25	Z	3 - 6	5,445	5,935	7,525



**Gambar 4.22.** Pengaruh *Dust Proportion filler spent catalyst* RCC terhadap nilai *VIM* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)



**Gambar 4.23.** Pengaruh *Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional* terhadap nilai *VIM* dengan variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Dari Tabel 4.37 serta Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 di atas dapat dilihat bahwa nilai *VIM* pada kondisi standar (2x75) tumbukan untuk campuran dengan menggunakan filler spent catalyst mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai dust proportion dan variasi lama perendaman, begitu pula halnya dengan campuran dengan Abu Batu konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh dust proportion semakin tinggi yang berarti semakin tinggi pula kandungan fillernya menyebabkan campuran menjadi lebih mampat karena pori/ rongga terisi oleh filler dan aspal. Disamping itu lama perendaman juga menyebabkan rongga antar agregat menjadi membesar, yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat melemah seiring dengan semakin lamanya perendaman.

Nilai *VIM* terbesar pada campuran dengan *filler spent catalyst* dihasilkan dari campuran pada DP 0,55 dengan nilai 6,425% pada variasi lama

perendaman 72 jam%. Sedangkan nilai VIM terbesar pada campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional dihasilkan dari campuran pada DP 0,55 dengan nilai 9,244%.

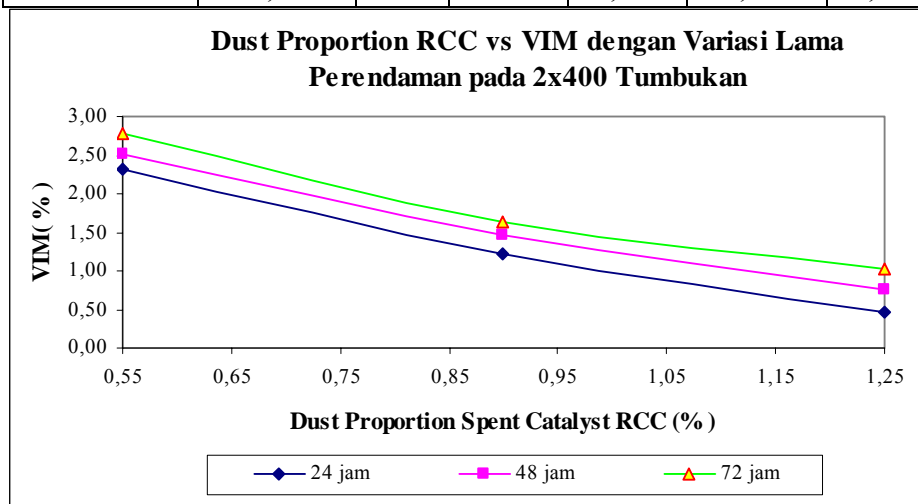
Secara keseluruhan nilai VIM pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* yang memenuhi syarat VIM 3% - 6% terjadi pada campuran dengan DP 0,9 dan 1,25, sedangkan nilai VIM untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional yang memenuhi syarat VIM 3% - 6% hanya terjadi pada DP 1,25 dengan variasi lama perendaman 24 dan 48 jam, selebihnya diatas ambang batas 6%. Nilai *VIM* yang besar mengindikasikan campuran bersifat porous sehingga mudah terjadi oksidasi yang selanjutnya dapat menurunkan durabilitas, serta mudah mengalami deformasi plastis.

b. Pada kondisi *Refusal Density* (2x400) tumbukan

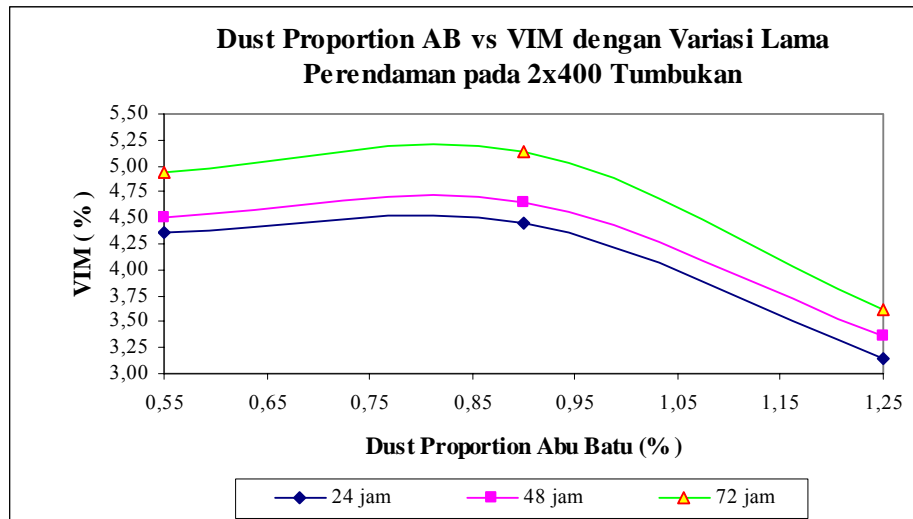
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai *VIM* pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dapat dilihat pada Tabel 4.38 serta Gambar 4.24 dan Gambar 4.25 berikut ini :

**Tabel 4.38.** Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *VIM* dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	VIM (%)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	Min 2	2,325	2,514	2,780
	0,90	B	Min 2	1,225	1,470	1,643
	1,25	C	Min 2	0,457	0,749	1,030
Konvensional	0,55	X	Min 2	4,354	4,50	4,941
	0,90	Y	Min 2	4,450	4,648	5,139
	1,25	Z	Min 2	3,143	3,355	3,608



**Gambar 4.24.** Pengaruh *Dust Proportion filler spent catalyst* RCC terhadap nilai *VIM* dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)



**Gambar 4.25.** Pengaruh *Dust Proportion filler Abu Batu Konvensional* terhadap nilai *VIM* dengan variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Dari Tabel 4.38 serta Gambar 4.24 dan Gambar 4.25, di atas dapat dilihat bahwa Nilai *VIM* pada kondisi *refusal density* lebih rendah daripada kondisi standard, ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi selanjutnya menurunkan nilai rongga dalam campuran, yang mengakibatkan *VIM refusal density* kecil. Lama perendaman pada kondisi *refusal density* mengakibatkan naiknya nilai *VIM*.

Nilai *VIM* terbesar pada campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* dihasilkan dari campuran dengan DP 0,55 dengan nilai 2,780%.

Sedangkan untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional nilai *VIM* terbesar dihasilkan dari campuran dengan DP 0,90 dengan nilai *VIM* 5,139%.

Secara keseluruhan nilai *VIM* untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional memenuhi persyaratan nilai *VIM* >2% (pada kondisi

*refusal density*) sedangkan pada campuran dengan *filler spent catalyst* hanya pada DP 0,55 yang memenuhi persyaratan.

- c. Perbandingan nilai VIM pada variasi lama perendaman (standar dan *refusal density*) pada jenis dan variasi *dust proportion*.

Tabel 4.39 Perbandingan nilai VIM menurut besarnya *dust proportion* untuk tumbukan standar (2x75) dan *refusal density* (2x400) dengan variasi lama perendaman

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	VIM (%)					
			Lama Perendaman (jam)					
			24		48		72	
			2x75	2x400	2x75	2x400	2x75	2x400
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	6,090	2,325	6,328	2,514	6,425	2,780
	0,90	B	5,084	1,225	5,364	1,470	5,579	1,643
	1,25	C	4,992	0,457	5,239	0,749	5,431	1,030
Konvensional	0,55	X	8,564	4,354	8,839	4,500	9,244	4,941
	0,90	Y	7,688	4,450	7,919	4,648	8,247	5,139
	1,25	Z	5,445	3,143	5,935	3,355	7,525	3,608

Dari tabel 4.39 diatas menunjukkan bahwa nilai *VIM* yang besar mengindikasikan campuran bersifat porous sehingga mudah terjadi oksidasi yang selanjutnya dapat menurunkan durabilitas, serta mudah mengalami deformasi plastis. Namun apabila nilai *VIM* terlalu kecil, juga tidak menguntungkan karena tidak menyediakan ruang yang cukup untuk menerima penambahan pemadatan akibat beban lalu lintas, sehingga pada akhirnya memungkinkan terjadinya *bleeding*.

## 5. Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman.

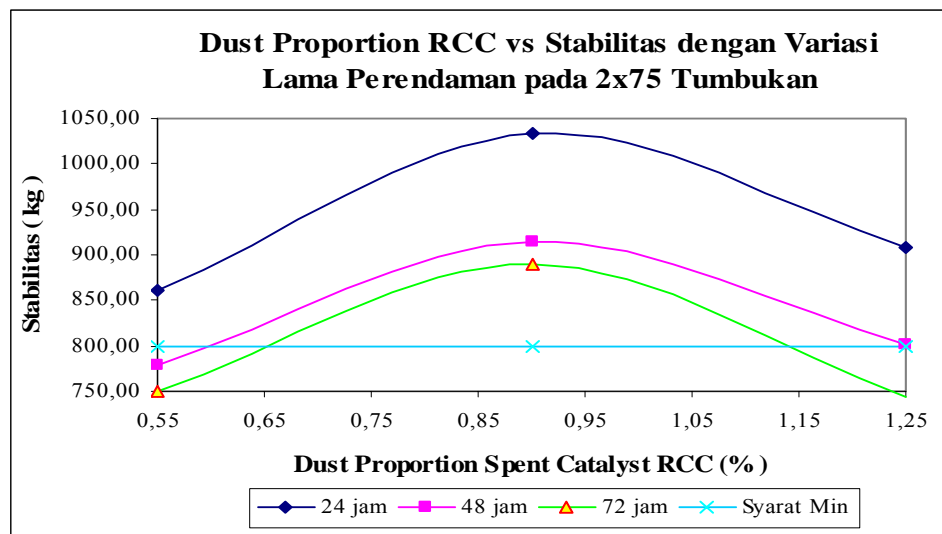
Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh *dust proportion* terhadap nilai Stabilitas pada 2 kondisi tumbukan yang berbeda, yaitu pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi *refusal density* (2x400).

- a. Pada kondisi standard (2x75) tumbukan

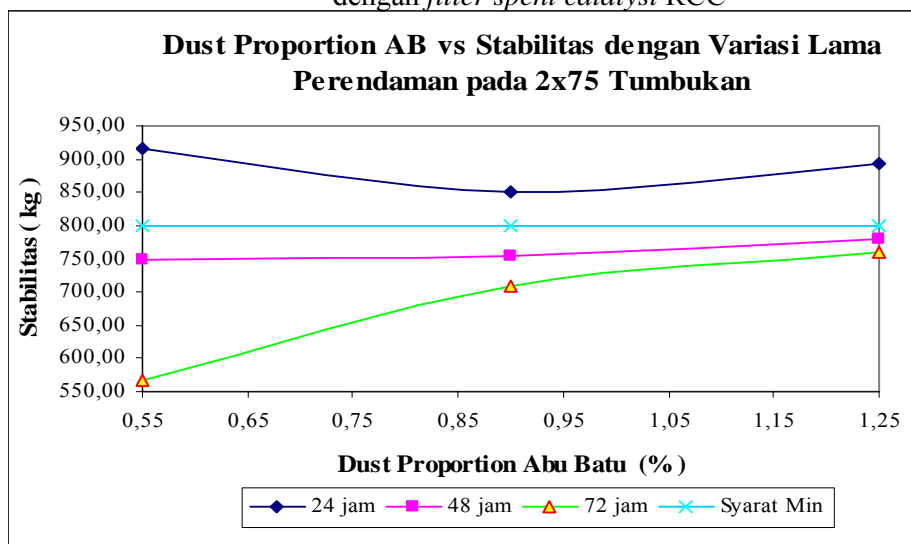
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dapat dilihat pada Tabel 4.40 serta Gambar 4.26, dan Gambar 4.27 berikut ini :

**Tabel 4.40.** Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Jenis Filler	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	Stabilitas (kg)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	Min 800	860	779	750
	0,90	B	Min 800	1034	915	889
	1,25	C	Min 800	907	801	744
Konvensional	0,55	X	Min 800	916	749	568
	0,90	Y	Min 800	850	755	708
	1,25	Z	Min 800	894	780	760



**Gambar 4.26.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan *filler spent catalyst* RCC





**Gambar 4.27.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi standar (2x75) dengan *filler abu batu konvensional*

Dari Tabel 4.40 serta Gambar 4.26, dan Gambar 4.27 di atas dapat dilihat bahwa Nilai Stabilitas pada kondisi standar (2x75) untuk campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* yang memenuhi persyaratan stabilitas > 800 kg hanya pada campuran dengan DP 0,90 dengan nilai 1034 kg. Untuk campuran dengan DP 0,55 hanya menghasilkan stabilitas pada durasi lama perendaman 24 jam saja yang memenuhi syarat stabilitas > 800 kg. Sedangkan untuk campuran dengan DP 1,25 nilai stabilitas yang memenuhi syarat stabilitas > 800 kg hanya terjadi pada durasi lama perendaman 24 jam sampai dengan 48 jam.

Untuk campuran dengan *filler* abu batu konvensional, nilai stabilitas tertinggi dihasilkan dari campuran dengan DP 0,55 (916 kg). Secara keseluruhan untuk campuran dengan *filler* abu batu konvensional, nilai stabilitas yang memenuhi syarat hanya terjadi pada durasi lama perendaman 24 jam saja.

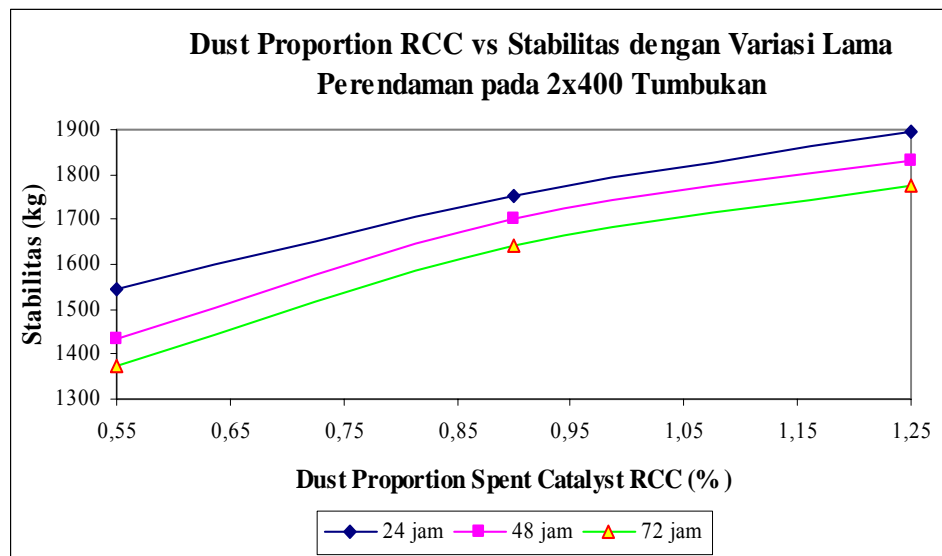
Hal tersebut memperlihatkan bahwa campuran dengan *filler spent catalyst* mempunyai karakteristik stabilitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran dengan *filler* abu batu konvensional, sehingga indikator kekuatan campuran dengan *filler spent catalyst* lebih tahan memikul beban lalu lintas.

b. Pada kondisi *Refusal Density* (2x400) tumbukan

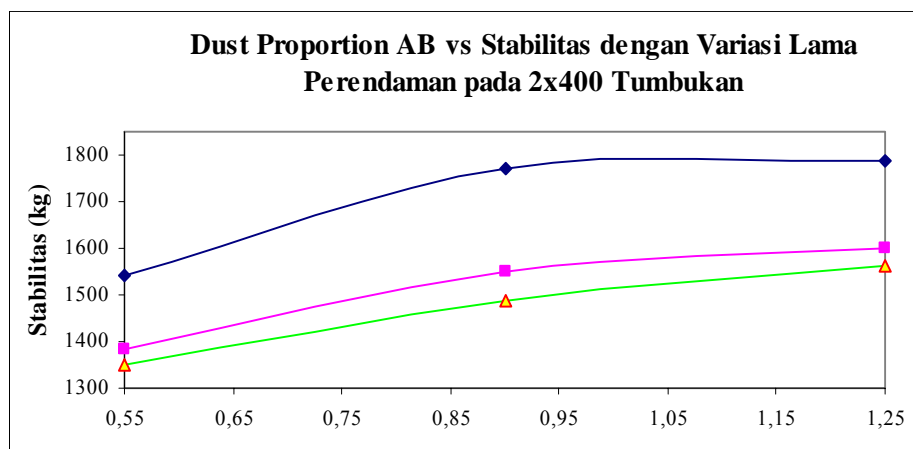
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dapat dilihat pada Tabel 4.41 serta Gambar 4.28, dan Gambar 4.29 berikut ini :

**Tabel 4.41** Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Jenis Filler	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	Stabilitas (kg)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	-	1546	1434	1372
	0,90	B	-	1753	1702	1641
	1,25	C	-	1893	1833	1775
Konvensional	0,55	X	-	1541	1384	1352
	0,90	Y	-	1772	1551	1487
	1,25	Z	-	1786	1602	1563



**Gambar 4.28.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan *filler spent catalyst* RCC



**Gambar 4.29.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan *filler* konvensional

Hasil pengujian yang terlihat dalam Tabel 4.41 menunjukkan bahwa nilai stabilitas terbesar dihasilkan dari campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* dengan DP 1,25 (1893 kg), untuk DP 0,55 dan DP 0,90 masing-masing nilai stabilitasnya adalah 1546 kg dan 1753 kg. Sedangkan untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional, nilai stabilitas tertinggi dihasilkan dari campuran dengan DP 1,25 (1786 kg), untuk campuran dengan DP 0,55 dan DP 0,90 masing-masing adalah 1541 kg dan 1772 kg.

Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai stabilitas pada kadar aspal optimum dan kondisi refusal density (2x400) tumbukan memenuhi persyaratan standar minimal yang dipersyaratkan. Hal tersebut dipengaruhi oleh energi pemadatan pada refusal density yang memampatkan rongga-rongga dalam campuran sehingga kekuatannya lebih tinggi.

- c. Perbandingan nilai Stabilitas pada variasi lama perendaman (standar dan refusal density) pada jenis dan variasi dust proportion.

Tabel 4.42 Perbandingan nilai Stabilitas menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Stabilitas (kg)					
			Lama Perendaman (jam)					
			24		48		72	
			2x75	2x400	2x75	2x400	2x75	2x400
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	860	1546	779	1434	750	1372
	0,90	B	1034	1753	915	1702	889	1641
	1,25	C	907	1893	801	1833	744	1775
Konvensional	0,55	X	916	1541	749	1384	568	1352
	0,90	Y	850	1772	755	1551	708	1487
	1,25	Z	894	1786	780	1602	760	1563

Dari Tabel 4.42 di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada kondisi *refusal density* lebih tinggi daripada kondisi standar, hal ini terjadi karena adanya peningkatan energi pemadat akan menyebabkan campuran menjadi lebih rapat dan mampat sehingga gesekan antar butiran (*internal friction*) meningkat begitu *interlocking* antar butiran juga semakin bertambah. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai Stabilitas, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat volume benda uji naik, sehingga kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan gesekan antar butiran menjadi turun.

Nilai Stabilitas adalah ukuran kemampuan dari campuran untuk menahan deformasi plastis dari beban lalu lintas, semakin besar nilai stabilitas mengindikasikan bahwa campuran akan lebih kokoh dan lebih tahan akan terjadinya deformasi plastis dan akan lebih awet (*durable*).

#### 6. Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman.

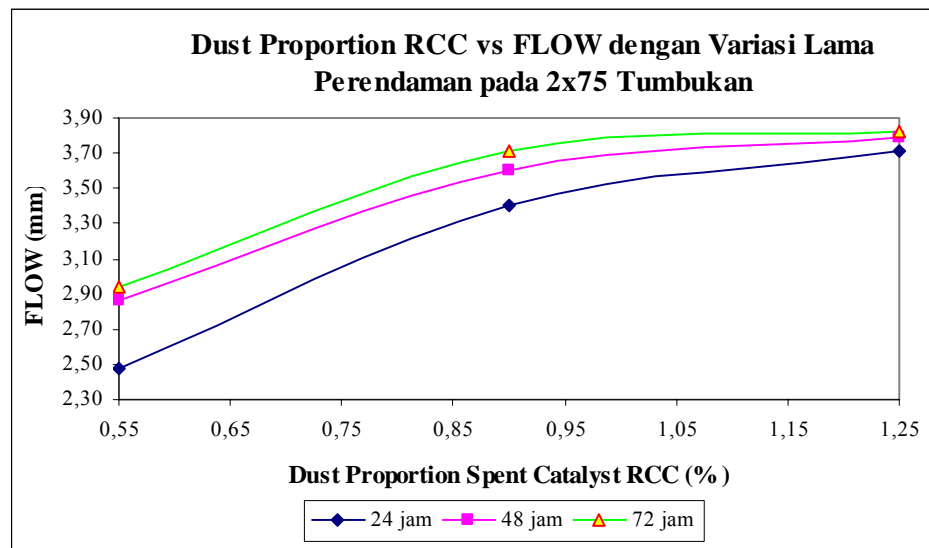
Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh dust proportion terhadap nilai Flow pada 2 kondisi tumbukan yang berbeda, yaitu pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi *refusal density* (2x400).

a. Pada kondisi standard (2x75) tumbukan

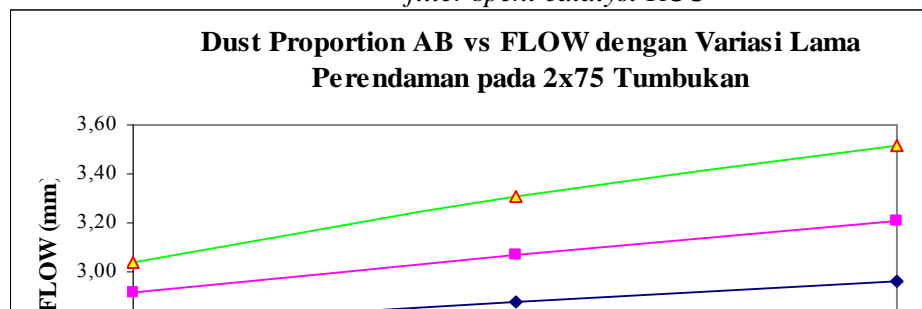
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dapat dilihat pada Tabel 4.43 serta Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 berikut ini:

**Tabel 4.43** Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Jenis Filler	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	Flow (mm)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	Min 2	2,475	2,860	2,935
	0,90	B	Min 2	3,405	3,600	3,710
	1,25	C	Min 2	3,710	3,790	3,820
Konvensional	0,55	X	Min 2	2,785	2,915	3,035
	0,90	Y	Min 2	2,875	3,070	3,310
	1,25	Z	Min 2	2,960	3,210	3,515



**Gambar 4.30.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan *filler spent catalyst* RCC



**Gambar 4.31.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi standar (2x75) dengan *filler abu batu konvensional*

Dari Tabel 4.43 serta Gambar 4.30 dan Gambar 4.31, di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* tertinggi pada kondisi standar (2x75) tumbukan untuk campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* terjadi pada DP 1,25 dengan nilai 3,820 mm. Sedangkan nilai *flow* tertinggi untuk campuran yang menggunakan *filler abu batu konvensional* terjadi pada DP 1,25 dengan nilai 3,515 mm. Dari hasil uraian tersebut mengindikasikan bahwa campuran dengan *filler spent catalyst* pada campuran dengan DP 1,25 mempunyai kelelahan yang lebih tinggi dengan asumsi lebih bisa mempertahankan kondisi campuran pada saat terkena beban lalu lintas sehingga lebih elastis.

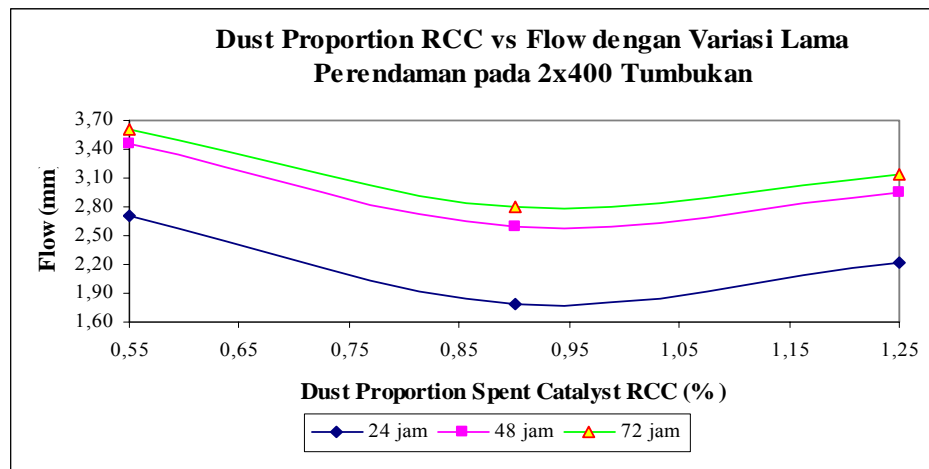
Secara keseluruhan nilai *flow* memenuhi persyaratan spesifikasi teknis yakni lebih besar 2 mm. Nilai *flow* terus meningkat seiring dengan durasi lama perendaman.

b. Pada kondisi *Refusal Density* (2x400) tumbukan

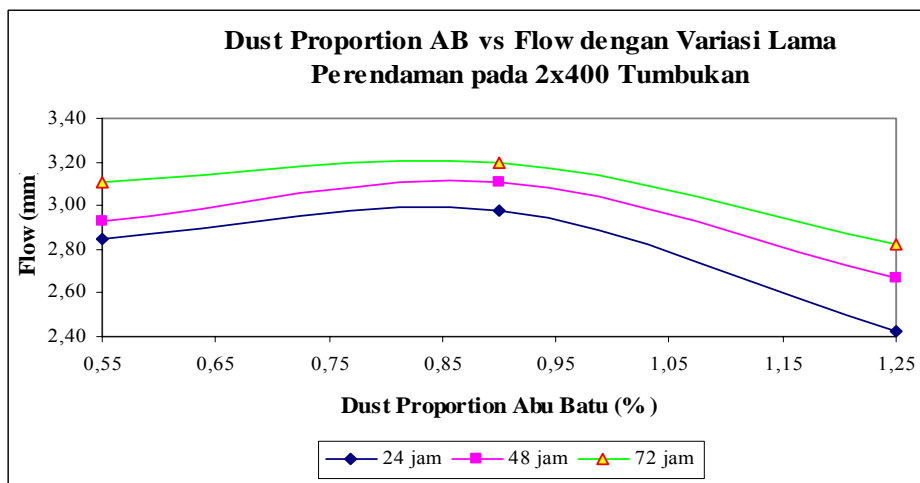
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.44, serta Gambar 4.32 dan Gambar 4.33 berikut ini :

**Tabel 4.44** Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Jenis Filler	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	Flow (mm)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	-	2,705	3,450	3,600
	0,90	B	-	1,790	2,600	2,800
	1,25	C	-	2,220	2,950	3,135
Konvensional	0,55	X	-	2,850	2,925	3,105
	0,90	Y	-	2,980	3,105	3,195
	1,25	Z	-	2,425	2,665	2,820



**Gambar 4.32.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan *filler spent catalyst* RCC



**Gambar 4.33.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai Flow pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan *filler* konvensional

Dari Tabel 4.44, serta Gambar 4.32 dan Gambar 4.33, di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* tertinggi pada kondisi *refusal density* (2x400) tumbukan

untuk campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* dihasilkan dari campuran DP 0,55 dengan nilai 3,600 mm. Sedangkan nilai *flow* tertinggi untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional terjadi pada campuran DP 0,90 dengan nilai 3,195 mm.

Dari uraian diatas dapat dilihat bahwa nilai *flow* tertinggi dihasilkan dari campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* dengan variasi DP 0,55. Nilai *flow* terus meningkat seiring dengan durasi lama perendaman.

- c. Perbandingan nilai Flow pada variasi lama perendaman (standar dan refusal density) pada jenis dan variasi dust proportion.

Tabel 4.45 Perbandingan nilai Flow menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Flow (mm)					
			Lama Perendaman (jam)					
			24		48		72	
			2x75	2x400	2x75	2x400	2x75	2x400
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	2,475	2,705	2,860	3,450	2,935	3,600
	0,90	B	3,405	1,790	3,600	2,600	3,710	2,800
	1,25	C	3,710	2,220	3,790	2,950	3,820	3,135
Konvensional	0,55	X	2,785	2,850	2,915	2,925	3,035	3,105
	0,90	Y	2,875	2,980	3,070	3,105	3,310	3,195
	1,25	Z	2,960	2,425	3,210	2,665	3,515	2,820

Nilai *flow* dapat dihubungkan dengan nilai stabilitas, apabila nilai *flow* besar dan nilai stabilitas rendah, maka mengindikasikan bahwa campuran akan mudah mengalami deformasi plastis apabila menerima beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Nilai *flow* yang kecil dan stabilitas yang tinggi mengindikasikan meningkatnya tahanan geser campuran serta memperkecil pengaruh defomasi plastis. Secara keseluruhan pengaruh dust proportion dan durasi perendaman terhadap nilai *flow* masih memenuhi persyaratan spesifikasi yang ada.

## 7. Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada variasi lama perendaman.



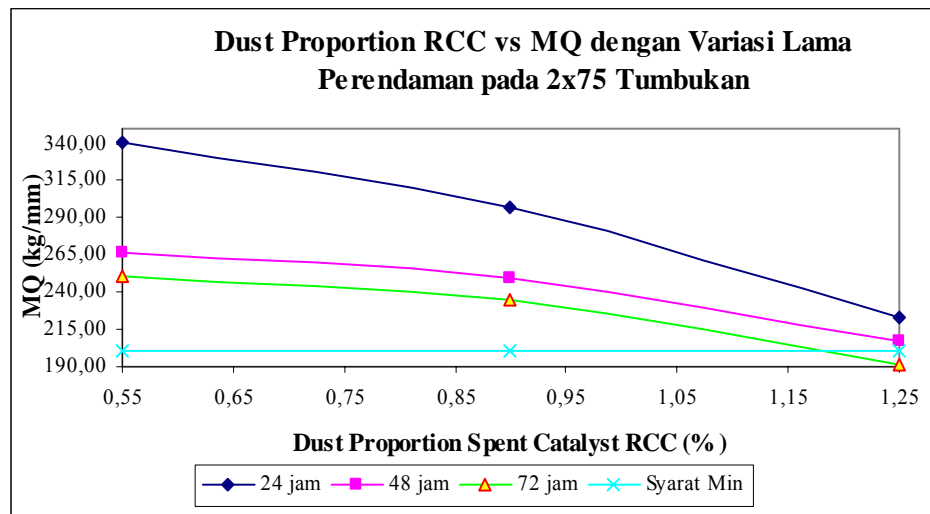
Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh dust proportion terhadap nilai **Marshall Quotient** (MQ) pada 2 kondisi tumbukan yang berbeda, yaitu pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi *refusal density* (2x400).

a. Pada kondisi standard (2x75) tumbukan

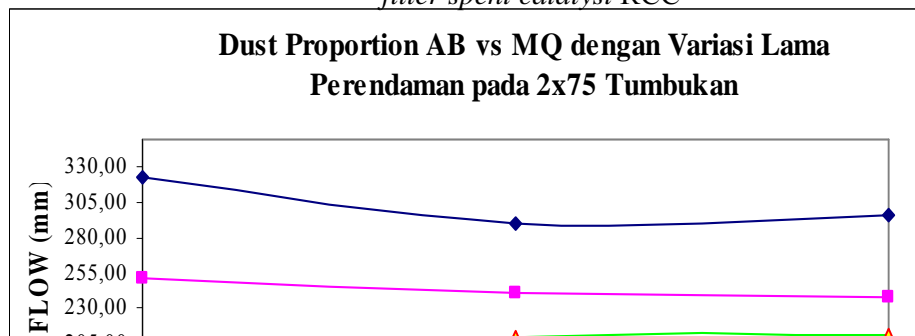
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai MQ pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dapat dilihat pada Tabel 4.46 serta Gambar 4.34 dan Gambar 4.35 berikut ini :

**Tabel 4.46** Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai *MQ* pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	MQ (kg/mm)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	Min 200	341	267	250
	0,90	B	Min 200	298	249	235
	1,25	C	Min 200	223	207	191
Konvensional	0,55	X	Min 200	323	252	184
	0,90	Y	Min 200	290	241	210
	1,25	Z	Min 200	296	238	212



**Gambar 4.34.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai *MQ* pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dengan *filler spent catalyst RCC*



**Gambar 4.35.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai *MQ* pada variasi lama perendaman pada kondisi standar (2x75) dengan *filler abu batu konvensional*

Dari Tabel 4.46 serta Gambar 4.34 dan Gambar 4.35 di atas dapat dilihat bahwa Nilai *MQ* tertinggi pada kondisi standar dihasilkan dari campuran dengan *filler spent catalyst* pada *dust proportion* 0,55 dengan nilai 341 kg/mm. Sedangkan nilai *MQ* tertinggi pada campuran dengan menggunakan *filler abu batu konvensional* dihasilkan dari campuran dengan *dust proportion* 0,55 dengan nilai 323 kg/mm. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *MQ*, hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan gesekan antar butiran menjadi turun.

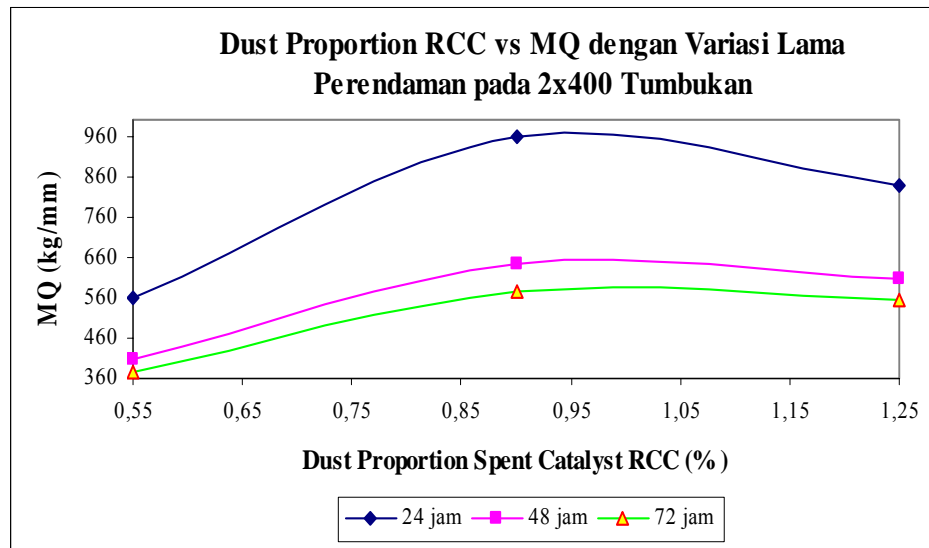
Penggunaan *filler spent catalyst* menghasilkan campuran dengan nilai *MQ* yang lebih tinggi dari pada campuran dengan *filler abu batu konvensional*. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi standar campuran dengan *filler spent catalyst* memiliki karakteristik yang lebih kaku dan tahan terhadap deformasi plastis. Secara keseluruhan mayoritas pengaruh variasi *dust proportion* dan durasi perendaman terhadap nilai *MQ* pada kadar aspal optimum dan kondisi (2x75) tumbukan masih berada > 200kg/mm, kecuali pada campuran dengan *filler spent catalyst* pada variasi DP 1,25 pada durasi perendaman 72 jam, menghasilkan nilai *MQ* < 200 kg/mm dengan nilai 191 kg/mm, disamping itu pada campuran dengan *filler abu batu konvensional* pada variasi DP 0,55 dengan nilai *MQ* 184 kg/mm.

- b. Pada kondisi *Refusal Density* (2x400) tumbukan

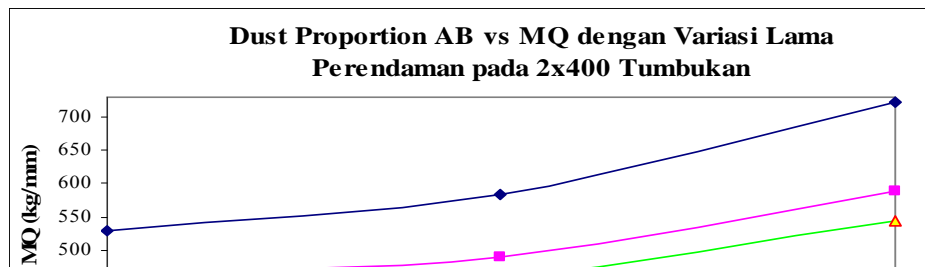
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai MQ pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.47 serta Gambar 4.36 dan Gambar 4.37 berikut ini :

**Tabel 4.47** Pengaruh lama perendaman terhadap nilai Marshall Quotient (MQ) pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Jenis Filler	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	MQ (kg/mm)		
				Lama Perendaman (jam)		
				24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	-	560	407	374
	0,90	B	-	960	642	575
	1,25	C	-	836	609	555
Konvensional	0,55	X	-	530	464	427
	0,90	Y	-	583	490	456
	1,25	Z	-	722	589	543



**Gambar 4.36.** Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai MQ pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan filler spent catalyst RCC



**Gambar 4.37.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai MQ pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan *filler* konvensional

Dari Tabel 4.47 serta Gambar 4.36 dan Gambar 4.37 di atas dapat dilihat bahwa pada kondisi *refusal density*, nilai MQ tertinggi dihasilkan dari campuran dengan filler *spent catalyst* pada variasi DP 0,90 dengan nilai 960 kg/mm. Sedangkan pada campuran dengan filler abu batu konvensional, nilai MQ tertinggi dihasilkan dari campuran pada variasi DP 1,25 dengan nilai 722 kg/mm. Secara keseluruhan pengaruh variasi *dust proportion* dan variasi durasi perendaman terhadap nilai *MQ* pada kadar aspal optimum dan kondisi *refusal density* (2x400) masih berada > 200kg/mm.

- c. Perbandingan nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada variasi lama perendaman (standar dan refusal density) pada jenis dan variasi dust proportion.

Tabel 4.48 Perbandingan nilai MQ menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman

Jenis Filler	Dust Proportion (DP)	Kode	Marshall Quotient (kg/mm)					
			Lama Perendaman (jam)					
			24		48		72	
			2x75	2x400	2x75	2x400	2x75	2x400
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	341	560	267	407	250	374
	0,90	B	298	960	249	642	235	575
	1,25	C	223	836	207	609	191	555
Konvensional	0,55	X	323	530	252	464	184	427
	0,90	Y	290	583	241	490	210	456
	1,25	Z	296	722	238	589	212	543

Nilai *MQ* adalah ukuran untuk memprediksi sifat fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *MQ* maka campuran akan semakin kaku dan tahan terhadap deformasi plastis, demikian pula sebaliknya campuran akan rentan terhadap terjadinya deformasi plastis apabila memiliki nilai *MQ* rendah.

Dari Tabel 4.48 diatas meunjukkan bahwa nilai *MQ* pada kondisi *refusal density* lebih tinggi daripada kondisi standar, hal ini terjadi karena adanya peningkatan energi pemadat akan menyebabkan kenaikan stabilitas dan menurunkan nilai *flow* serta meningkatkan kekakuan dari campuran. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *MQ*, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi standar maupun kondisi *refusal density*, nilai *MQ* lebih tinggi jika dihasilkan dari campuran dengan *filler spent catalyst*.

#### 8. Pengaruh *Dust Proportion* terhadap nilai Durabilitas (*IRS*) pada variasi lama perendaman.

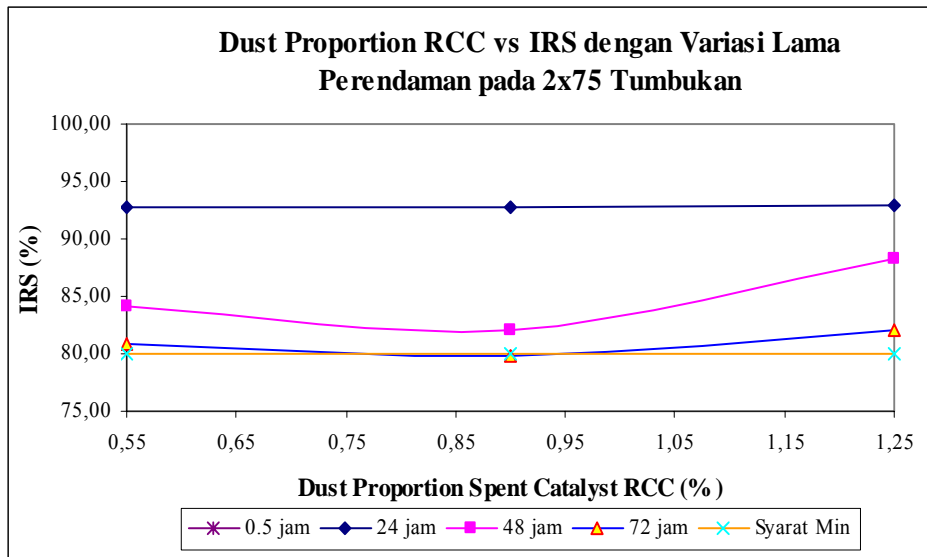
Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh dust proportion terhadap nilai Durabilitas (*IRS*) pada 2 kondisi tumbukan yang berbeda, yaitu pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi *refusal density* (2x400).

##### a. Pada kondisi standard (2x75) tumbukan

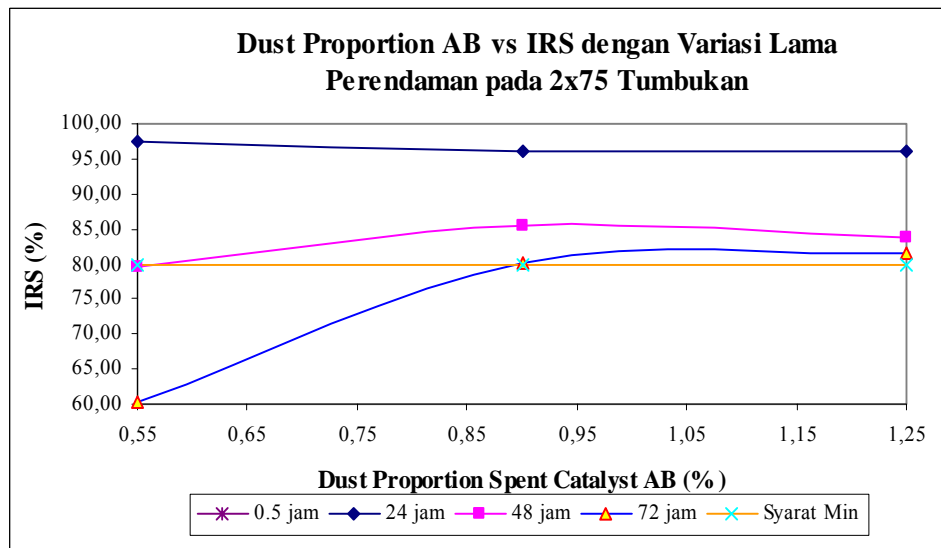
Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai *IRS* pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dapat dilihat pada Tabel 4.49, Gambar 4.38 dan Gambar 4.39 diberikut ini :

**Tabel 4.49** Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai *IRS* pada variasi lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	IRS (%)			
				Lama Perendaman (jam)			
				0.5	24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	Min 80	-	93	84	81
	0,90	B	Min 80	-	93	82	80
	1,25	C	Min 80	-	93	88	82
Konvensional	0,55	X	Min 80	-	97	80	60
	0,90	Y	Min 80	-	96	85	80
	1,25	Z	Min 80	-	96	84	82



**Gambar 4.38.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai IRS pada variasi lama perendaman pada kondisi standar (2x75) dengan *filler spent catalyst RCC*



**Gambar 4.39.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai *IRS* pada variasi lama perendaman pada kondisi standar (2x75) dengan *filler abu batu konvensional*

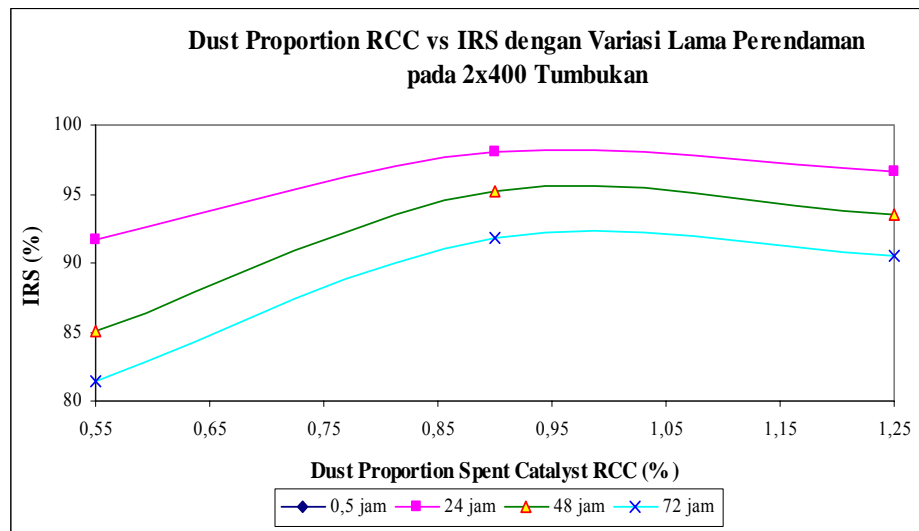
Dari Tabel 4.49, Gambar 4.38 dan Gambar 4.39 di atas dapat dilihat bahwa lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *IRS* pada kondisi standar. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan daya ikat aspal terhadap agregat menjadi turun. Hasil

pengujian menunjukkan bahwa *IRS* pada kondisi standar, sampel pada campuran dengan *filler spent catalyst* pada variasi DP 1,25 memiliki karakteristik yang lebih *durable* jika dibandingkan pada variasi DP 0,55 dan 0,90. Sedangkan dari campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional, nilai *IRS* tertinggi dihasilkan dari campuran dengan variasi DP 0,55 dengan nilai *IRS* 97 %.

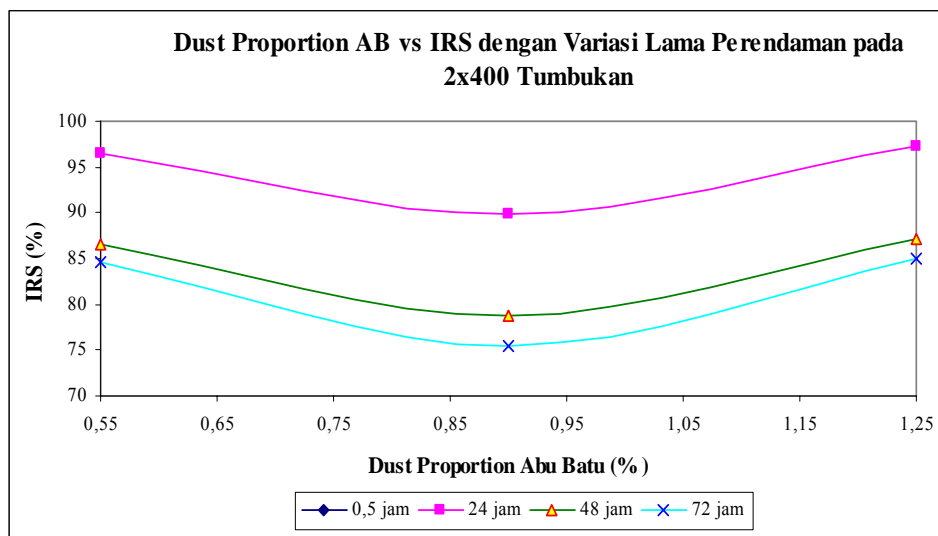
- b. Pada kondisi *Refusal Density* (2x400) tumbukan
- Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai *IRS* pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.50 serta Gambar 4.40 dan Gambar 4.41 berikut ini :

**Tabel 4.50** Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *IRS* pada kondisi *Refusal Density* (2x400)

Jenis <i>Filler</i>	Dust Proportion (DP)	Kode	Syarat	IRS (%)			
				Lama Perendaman (jam)			
				0.5	24	48	72
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	Min 80	-	92	85	81
	0,90	B	Min 80	-	98	95	92
	1,25	C	Min 80	-	97	93	91
Konvensional	0,55	X	Min 80	-	96	87	85
	0,90	Y	Min 80	-	90	79	75
	1,25	Z	Min 80	-	97	87	85



**Gambar 4.40.** Pengaruh penggunaan jenis dust proportion terhadap nilai *IRS* pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan filler spent catalyst RCC



**Gambar 4.41.** Hubungan pengaruh dust proportion terhadap nilai IRS pada variasi lama perendaman pada kondisi *Refusal Density* (2x400) dengan *filler* konvensional

Dari Tabel 4.50 serta Gambar 4.40 dan Gambar 4.41 di atas dapat dilihat bahwa hasil pengujian menunjukkan bahwa *IRS* sampel dari campuran dengan menggunakan *filler spent catalyst* pada variasi DP 0,90 cenderung stabil dan *durable*, jika dibandingkan dengan variasi DP 0,55 dan DP 1,25. Sedangkan pada campuran dengan menggunakan filler abu batu konvensional nilai *IRS* cenderung stabil dan *durable* pada campuran dengan DP 1,25 disusul DP 0,55 dan DP 0,90.

- c. Perbandingan nilai *IRS* pada variasi lama perendaman (standar dan refusal density) pada jenis dan variasi dust proportion.

Tabel 4.51 Perbandingan nilai *IRS* menurut besarnya dust proportion untuk tumbukan standar (2x75) dan refusal density (2x400) dengan variasi lama perendaman

Jenis Filler	Dust Proportion (DP)	Kode	IRS (%)					
			Lama Perendaman (jam)					
			24		48		72	
			2x75	2x400	2x75	2x400	2x75	2x400
<i>Spent Catalyst</i>	0,55	A	93	92	84	85	81	81
	0,90	B	93	98	82	95	80	92
	1,25	C	93	97	88	93	82	91
Konvensional	0,55	X	97	96	80	87	60	85
	0,90	Y	96	90	85	79	80	75
	1,25	Z	96	97	84	87	82	85



Dari Tabel diatas menunjukan bahwa lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *IRS*, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan daya ikat aspal terhadap agregat menjadi turun.

Nilai *IRS* adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin kecil nilai *IRS* maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya ikatan aspal dan agregat akan berkurang yang pada akhirnya akan menurunkan nilai *IRS*.

#### 4.2.4 Evaluasi hasil laboratorium uji *Marshall*, *IRS* dan Perendaman Modifikasi Tahap II terhadap variasi *Dust Proportion* dan pengaruh Lama Perendaman.

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran *HRS-WC* didapat hasil rekapitulasi yang memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi pada tahap II terhadap pengaruh variasi *dust proportion* adalah sebagai berikut ini :

**Tabel 4.44.** Pengaruh *filler Spent Catalyst* pada variasi *Dust Proportion* 0,55 terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400)

Dust Proportion	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	2x75 tumbukan (jam)			2x400 tumbukan (jam)		
			24	48	72	24	48	72
0,55	Density (gr/cc)	-	2.245	2.239	2.237	2.335	2.331	2.324
	VMA (%)	> 18%	22.89	23.09	23.17			
		-				19.80	19.96	20.18
	VFA (%)	> 75	75.24	74.47	74.16			
		-				89.22	88.43	87.33
	VIM 2x75 (%)	3% - 6%	6.09	6.33	6.42			
	2x400 (%)	> 2%				2.33	2.51	2.78
	Stabilitas (kg)	> 800kg	860	779	750			
Karakteristik Perendaman Modifikasi		-				1546	1434	1372
	Flow (mm)	> 2mm	2.48	2.86	2.94			
		-				2.71	3.45	3.60
	MQ (kg/mm)	> 200 kg/mm	341	267	250			
		-				560	407	374
	(2x75) tumbukan		(2x400) tumbukan					
	0,5 jam		24 jam	48 jam	72 jam	0,5 jam	24 jam	48 jam
IRS standar (%)		100	93	84	81	100	92	85
ID I (r, %)		0	0.306	0.641	0.909	0	0.351	0.666
ID I (R,kg)		0	2.839	5.944	8.420	0	5.917	11.219
ID II (Sa, %)		100	96.475	88.600	79.118	100	95.961	88.568
ID II (SA, kg)		926.75	894.08	821.10	733.22	1685.50	1617.43	1492.81

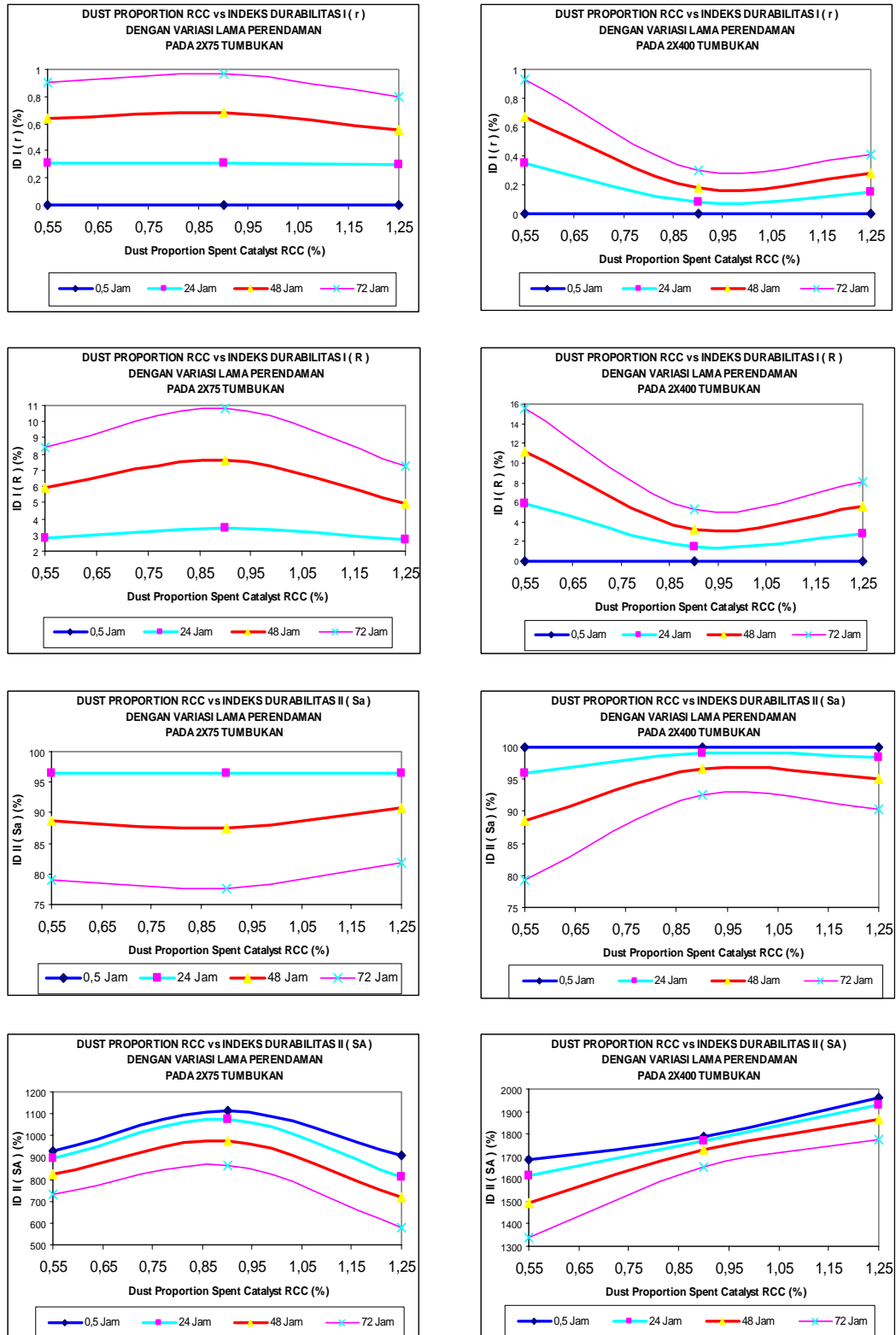
**Tabel 4.45.** Pengaruh *filler Spent Catalyst* pada variasi *Dust Proportion* 0,90 terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

Dust Proportion	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	2x75 tumbukan (jam)			2x400 tumbukan (jam)			
			24	48	72	24	48	72	
0,90	Density (gr/cc)	-	2.259	2.252	2.247	2.351	2.345	2.341	
	VMA (%)	> 18%	22.04	22.27	22.45				
		-				18.87	19.08	19.22	
	VFA (%)	> 75	78.55	77.58	76.85				
		-				94.05	92.93	92.15	
	VIM 2x75 (%)	3% - 6%	5.08	5.36	5.58				
		2x400 (%)	> 2%				1.23	1.47	1.64
	Stabilitas (kg)	> 800kg	1034	915	889				
		-				1753	1702	1641	
	Flow (mm)	> 2mm	3.41	3.60	3.71				
-					1.79	2.60	2.80		
MQ (kg/mm)	> 200 kg/mm	298	249	235					
	-				960	642	575		
Karakteristik Perendaman Modifikasi		(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan			
		0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam	0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam
IRS standar (%)		100	93	82	80	100	98	95	92
ID I (r, %)		0	0.308	0.685	0.968	0	0.083	0.184	0.299
ID I (R,kg)		0	3.431	7.635	10.791	0	1.493	3.293	5.347
ID II (Sa, %)		100	96.458	87.593	77.543	100	99.039	96.673	92.594
ID II (SA, kg)		1114.56	1075.08	976.28	864.26	1788.00	1770.83	1728.51	1655.58

**Tabel 4.46.** Pengaruh *filler Spent Catalyst* pada variasi *Dust Proportion* 1,25 terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

Dust Proportion	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	2x75 tumbukan (jam)			2x400 tumbukan (jam)			
			24	48	72	24	48	72	
1,25	Density (gr/cc)	-	2.250	2.245	2.240	2.358	2.351	2.344	
	VMA (%)	> 18%	21.94	22.15	22.30				
		-				18.22	18.46	18.69	
	VFA (%)	> 75	78.80	77.93	77.27				
		-				97.70	96.28	94.94	
	VIM 2x75 (%)	3% - 6%	4.99	5.24	5.43				
	2x400 (%)	> 2%				0.46	0.75	1.03	
	Stabilitas (kg)	> 800kg	843	801	744				
		-				1893	1833	1775	
	Flow (mm)	> 2mm	3.71	3.79	3.82				
	-				2.22	2.95	3.14		
MQ (kg/mm)	> 200 kg/mm	223	207	191					
	-				836	609	555		
Karakteristik Perendaman Modifikasi		(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan			
		0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam	0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam
IRS standar (%)		100	93	88	82	100	97	93	91
ID I (r, %)		0	0.302	0.548	0.800	0	0.146	0.283	0.415
ID I (R,kg)		0	2.738	4.972	7.254	0	2.854	5.540	8.129
ID II (Sa, %)		100	96.527	90.740	81.810	100	98.325	95.105	90.417
ID II (SA, kg)		907.23	811.38	717.11	579.03	1960.40	1927.56	1864.44	1772.53

Gambar 4.42 Hubungan Pengaruh *filler Spent Catalyst* pada variasi *Dust Proportion* terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400)



**Tabel 4.47.** Pengaruh *filler* Abu Batu Konvensional pada variasi *Dust Proportion* 0,55 terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standar (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

Dust Proportion	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	2x75 tumbukan (jam)			2x400 tumbukan (jam)			
			24	48	72	24	48	72	
0,55	Density (gr/cc)	-	2.233	2.226	2.217	2.336	2.332	2.322	
	VMA (%)	> 18%	22.72	22.95	23.29				
		-				19.16	19.28	19.65	
	VFA (%)	> 75	64.97	64.17	63.03				
		-				79.23	78.66	76.97	
	VIM 2x75 (%) 2x400 (%)	3% - 6%	8.56	8.84	9.24				
		> 2%				4.35	4.50	4.94	
	Stabilitas (kg)	> 800kg	916	749	568				
		-				1541	1384	1352	
Flow (mm)	> 2mm	2.79	2.92	3.04					
	-				2.85	2.93	3.11		
MQ (kg/mm)	> 200 kg/mm	323	252	184					
	-				530	464	427		
Karakteristik Perendaman Modifikasi		(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan			
		0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam	0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam
IRS standar (%)		100	97	80	60	100	96	87	85
ID I (r, %)		0	0.111	0.540	1.094	0	0.152	0.433	0.648
ID I (R,kg)		0	1.041	5.082	10.293	0	2.423	6.916	10.356
ID II (Sa, %)		100	98.727	88.631	68.968	100	98.255	91.644	83.999
ID II (SA, kg)		940.80	928.82	833.84	648.85	1597.44	1569.56	1463.95	1341.84

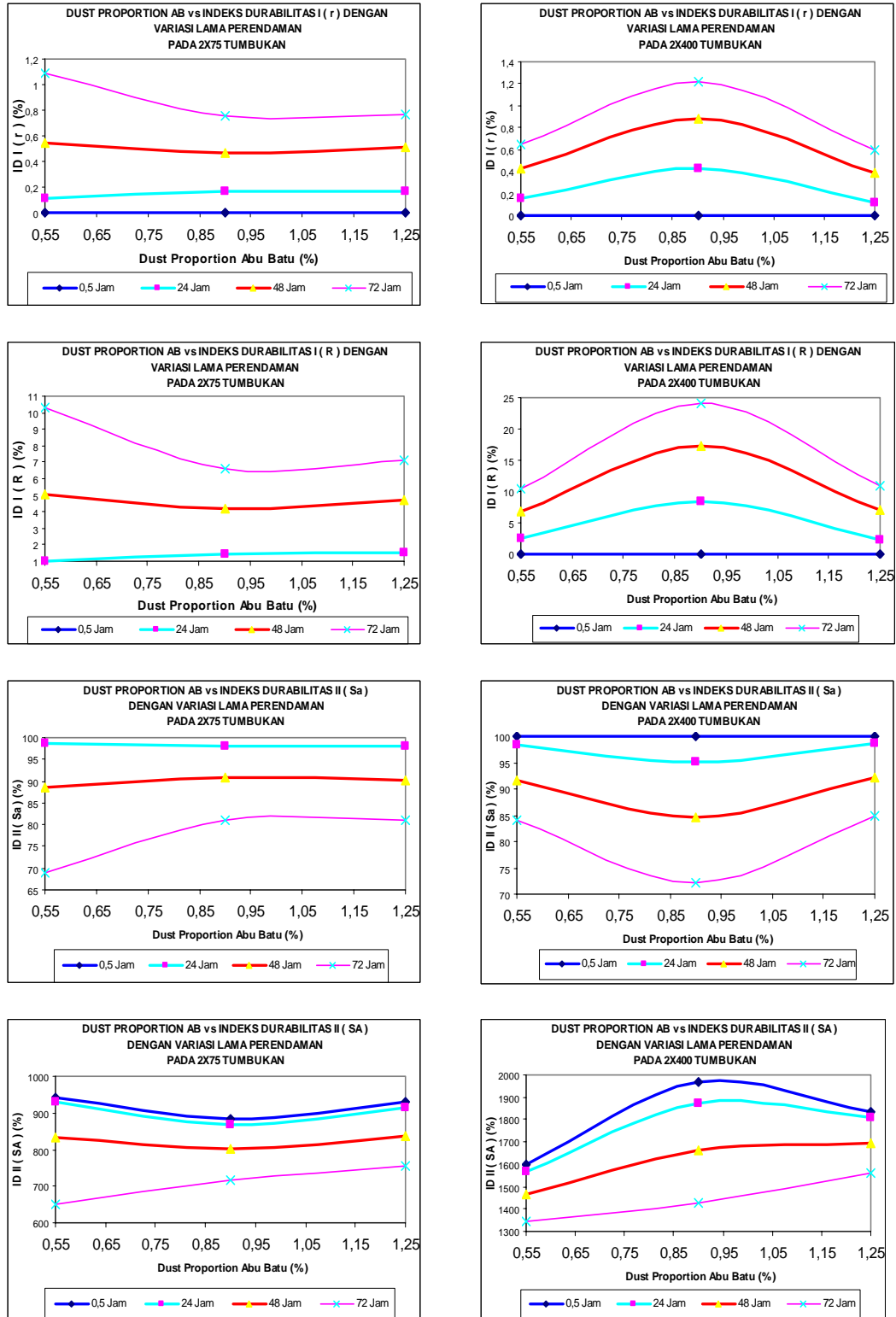
**Tabel 4.48.** Pengaruh *filler* Abu Batu Konvensional pada variasi *Dust Proportion* 0,90 terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standar (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

Dust Proportion	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	2x75 tumbukan (jam)			2x400 tumbukan (jam)			
			24	48	72	24	48	72	
0,90	Density (gr/cc)	-	2.250	2.244	2.236	2.329	2.324	2.312	
	VMA (%)	> 18%	21.99	22.19	22.47				
		-				22.47	19.42	19.84	
	VFA (%)	> 75	67.54	66.83	65.85				
		-				65.85	78.05	76.18	
	VIM 2x75 (%)	3% - 6%	7.69	7.92	8.25				
	2x400 (%)	> 2%				8.25	4.65	5.14	
	Stabilitas (kg)	> 800kg	850	755	708				
		-				708	1551	1487	
	Flow (mm)	> 2mm	2.88	3.07	3.31				
	-				3.31	3.11	3.20		
MQ (kg/mm)	> 200 kg/mm	290	241	210					
	-				210	490	456		
Karakteristik Perendaman Modifikasi		(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan			
		0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam	0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam
IRS standar (%)		100	96	85	80	100	90	79	75
ID I (r, %)		0	0.165	0.472	0.751	0	0.430	0.879	1.223
ID I (R,kg)		0	1.456	4.174	6.638	0	8.482	17.331	24.111
ID II (Sa, %)		100	98.105	90.880	80.987	100	95.050	84.500	72.289
ID II (SA, kg)		884.16	867.41	803.52	716.05	1971.32	1873.74	1665.77	1425.04

**Tabel 4.49.** Pengaruh *filler* Abu Batu Konvensional pada variasi *Dust Proportion* 1,25 terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standar (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

Dust Proportion	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	2x75 tumbukan (jam)			2x400 tumbukan (jam)			
			24	48	72	24	48	72	
1,25	Density (gr/cc)	-	2,287	2,287	2,248	2,355	2,350	2,344	
	VMA (%)	> 18%	20,11	20,53	21,87				
		-				18,17	18,35	18,56	
	VFA (%)	> 75	75,02	73,26	68,00				
		-				84,20	83,28	82,21	
	VIM 2x75 (%)	3% - 6%	5,45	5,94	7,52				
	2x400 (%)	> 2%				3,14	3,35	3,61	
	Stabilitas (kg)	> 800kg	894	780	760				
		-				1786	1602	1563	
	Flow (mm)	> 2mm	2,96	3,21	3,52				
	-				2,43	2,67	2,82		
MQ (kg/mm)	> 200 kg/mm	296	238	212					
	-				722	589	543		
Karakteristik Perendaman Modifikasi		(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan			
		0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam	0,5 jam	24 jam	48 jam	72 jam
IRS standar (%)		100	96	84	82	100	97	87	85
ID I (r, %)		0	0,167	0,507	0,763	0	0,120	0,390	0,599
ID I (R,kg)		0	1,552	4,715	7,105	0	2,197	7,156	10,996
ID II (Sa, %)		100	98,081	90,094	80,978	100	98,624	92,280	84,860
ID II (SA, kg)		930,72	912,86	838,52	753,68	1837,16	1811,89	1695,33	1559,01

Gambar 4.43 Hubungan Pengaruh *filler* Abu Batu Konvensional pada variasi *Dust Proportion* terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400)



Dari hasil evaluasi pengujian diatas terlihat bahwa hanya untuk campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* dengan *dust proportion* 0,90 saja yang memenuhi semua persyaratan sesuai dengan spesifikasi, baik pada kondisi standar (2x75) maupun kondisi *refusal density* (2x400) dengan variasi lama perendaman 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Untuk campuran dengan *dust proportion* 0,55 pada kondisi standar nilai stabilitas pada durasi perendaman 48 jam dan 72 jam tidak memenuhi syarat  $> 800$  kg, serta nilai VIM diatas ambang batas. Sedangkan untuk campuran dengan *dust proportion* 1,25 pada kondisi standar nilai stabilitas pada durasi lama perendaman 72 jam saja yang tidak memenuhi syarat  $> 800$  kg, selebihnya semua karakteristik marshall memenuhi persyaratan yang ada.

Untuk campuran yang menggunakan *filler* abu batu konvensional pada kondisi standar dengan variasi *dust proportion* 0,55 karakteristik marshall yang tidak memenuhi persyaratan spesifikasi adalah nilai VIM pada semua variasi durasi lama perendaman dan nilai stabilitas pada durasi lama perendaman 48 jam dan 72 jam. Sedangkan pada kondisi *refusal density*, semua karakteristik marshall memenuhi persyaratan. Pada campuran dengan *dust proportion* 0,90 karakteristik marshall yang tidak memenuhi persyaratan spesifikasi adalah nilai VIM pada semua variasi durasi lama perendaman dan nilai stabilitas pada durasi lama perendaman 48 jam dan 72 jam. Pada campuran dengan *dust proportion* 1,25 semua karakteristik *marshall* yang memenuhi persyaratan spesifikasi pada durasi lama perendaman 24 jam.

Nilai pengujian *flow* pada kondisi standar maupun pada kondisi *refusal density* pada campuran dengan menggunakan *filler spent catalyst* memenuhi syarat *flow*  $> 2$ mm. Nilai *flow* terkecil pada kondisi standar dihasilkan dari campuran dengan DP 0,55 pada durasi lama perendaman 24 jam. Sedangkan nilai *flow* terbesar dihasilkan dari campuran DP 1,25 pada durasi lama perendaman 72 jam.

Nilai *flow* dari campuran dengan menggunakan *filler* abu batu konvensional pada kondisi standar maupun kondisi *refusal density* pada semua variasi *dust proportion* dan durasi lama perendaman secara keseluruhan memenuhi syarat *flow*  $> 2$  mm.

Nilai pengujian *MQ* pada kondisi standar dan pada kondisi *refusal density* untuk campuran yang menggunakan *filler spent catalyst* mayoritas memenuhi syarat *MQ*  $> 200$  kg/mm kecuali pada variasi *dust proportion* 1,25 pada kondisi standar dengan durasi lama perendaman 72 jam, dengan nilai *MQ* 191 kg/mm.

Sedangkan nilai MQ untuk campuran dengan menggunakan *filler* abu batu konvensional pada kondisi standar maupun kondisi *refusal density* mayoritas memenuhi syarat  $MQ > 200 \text{ kg/mm}$  kecuali pada campuran dengan *dust proportion* 0,55 pada kondisi standar pada durasi lama perendaman 72 jam dengan nilai MQ 184 kg/mm.

Nilai Indeks Stabilitas Sisa standard ( *IRS* ) pada kondisi standar dan pada kondisi *refusal density* pada semua variasi *dust proportion* maupun durasi lama perendaman. Secara keseluruhan semua nya masih memenuhi syarat  $IRS > 80 \%$ .

Dari hasil evaluasi pengujian Perendaman Modifikasi terhadap lama perendaman di atas menghasilkan indeks durabilitas sebagai berikut :

a. Indeks Durabilitas Pertama

Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks penurunan stabilitas (r dan R), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks penurunan stabilitas ( r dan R ) sampel yang menggunakan *filler spent catalyst* dengan *dust proportion* 0,90 menghasilkan nilai tertinggi jika dibandingkan dengan *dust proportion* 0,55 dan *dust proportion* 1,25. Pada kondisi *refusal density* nilai tertinggi dihasilkan dari campuran dengan nilai *dust proportion* 0,55.

Sedangkan untuk campuran dengan *filler* abu batu konvensional pada kondisi standar nilai indeks penurunan stabilitas (r dan R) tertinggi dihasilkan dari campuran dengan *dust proportion* 0,55. Pada kondisi *refusal density* nilai tertinggi dihasilkan dari campuran dengan *dust proportion* 0,90.

Nilai indek penurunan stabilitas adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin besar nilai indeks penurunan stabilitas (r dan R) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous. Sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat.



b. Indeks Durabilitas Kedua

Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai indeks stabilitas sisa ( $S_a$ ), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks stabilitas sisa ( $S_a / S_A$ ) sampel campuran dengan menggunakan *filler spent catalyst* pada kondisi standar menghasilkan nilai yang lebih rendah jika dibandingkan pada kondisi *refusal density*. Nilai indeks stabilitas sisa ( $S_a / S_A$ ) pada kondisi standar tertinggi dihasilkan dari campuran dengan variasi DP 0,90. Sedangkan pada campuran dengan filler abu batu konvensional nilai  $S_a$  tertinggi dihasilkan dari campuran dengan DP 0,55.

Nilai indeks stabilitas sisa ( $S_a$ ) adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin besar nilai indeks stabilitas sisa ( $S_a$ ) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat. Sedangkan semakin kecil nilai absolut ekivalen kuat tahan ( $S_A$ ) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan seperti yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat diambil suatu kesimpulan dari analisa *Marshall* tahap I untuk menentukan kadar aspal optimum sebagai dasar untuk penelitian tahap II yaitu pengaruh *dust proportion spent catalyst RCC* (limbah Pertamina) terhadap karakteristik Marshall dan durabilitas pada campuran HRS dengan kepadatan mutlak. Adapun kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

- 5.1.1 Gradasi mineral *spent catalyst RCC* memenuhi persyaratan sebagai gradasi *filler*, sehingga bahan tersebut dapat digunakan sebagai material alternatif sebagai pengganti filler konvensional dengan konsekuensi penggunaan prosentase kadar aspal dalam campurannya lebih tinggi.
- 5.1.2 Analisis *Marshall* tahap I untuk menentukan kadar aspal optimum campuran *HRS-WC* dengan variasi penggunaan jenis filler, masing-masing untuk campuran dengan filler *Spent Catalyst RCC* didapatkan hasil KAO 8,375 % sedangkan untuk campuran dengan filler abu batu konvensional diperoleh nilai KAO 7,225 %.
- 5.1.3 Dari penelitian Tahap kedua didapatkan sifat-sifat *Marshall* pada kadar aspal optimum terhadap lama perendaman dengan variasi kadar *dust proportion* (DP) untuk masing-masing variasi jenis filler (0,55 ; 0,9 dan 1.25) didapatkan nilai sebagai berikut :
  - a. Tingkat kepadatan (density) campuran dengan menggunakan *filler spent catalyst RCC* didapatkan nilai density tertinggi pada campuran dengan DP range tengah antara 0,55 – 1,25 yakni 0,90. Sementara nilai density tertinggi untuk campuran dengan filler abu batu konvensional dihasilkan dari campuran dengan DP 1,25. Perbedaan nilai optimum pada kadar dust proportion tersebut dimungkinkan karena adanya pengaruh kandungan logam pada filler *spent catalyst RCC* sehingga nilai optimum density-nya terjadi pada campuran dengan DP 0,90.

- b. Nilai *Void in Mineral Agreggate (VMA)* pada masing-masing campuran dengan variasi jenis filler mempunyai karakteristik yang sama yakni nilai optimum terjadi pada campuran dengan DP 0,55 pada kondisi standar (2x75) dan *refusal density* (2x400). Nilai tertinggi dihasilkan dari campuran dengan filler *spent catalyst* dengan nilai 22,894% pada variasi perendaman 24 jam. Nilai VMA pada semua jenis variasi memenuhi syarat spesifikasi (min 18 %).

Nilai *Void Filled with Asphalt (VFA)* pada masing-masing campuran dengan variasi jenis filler mempunyai karakteristik yang sama yakni nilai optimum terjadi pada campuran dengan DP 1,25 pada kondisi standar (2x75) dan *refusal density* (2x400). Nilai VFA tertinggi dihasilkan dari campuran dengan filler *spent catalyst* dengan nilai 78,797% sedangkan pada campuran dengan filler abu batu konvensional adalah 75,016%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan filler *spent catalyst* lebih banyak mengandung rongga terisi aspal sehingga campuran lebih lentur dan *durable* menerima beban tanpa terjadi retak (*cracking*). Semua nilai VFA yang memenuhi syarat spesifikasi (min 75%) hanya terjadi pada campuran dengan filler *spent catalyst* sedangkan pada campuran dengan filler abu batu hanya dihasilkan dari campuran dengan DP 1,25.

Besarnya nilai *Void in the Mix (VIM)* pada masing-masing campuran dengan variasi jenis filler mempunyai karakteristik yang sama yakni nilai optimum terjadi pada campuran dengan DP 0,55 pada kondisi standar (2x75) dan *refusal density* (2x400). Nilai optimum VIM adalah kisaran 3 – 6 %, dari syarat tersebut nilai VIM yang memenuhi dihasilkan dari campuran dengan filler *spent catalyst* pada DP 0,90 dan 1,25 sementara dari campuran dengan filler abu batu dihasilkan dari campuran dengan DP 1,25 saja selebihnya menghasilkan nilai diatas ambang batas 6 %. Hal tersebut mengindikasikan adanya pengaruh kandungan logam pada *spent catalyst* yang mengakibatkan rongga dalam campuran lebih kecil. Nilai VIM yang besar menggambarkan campuran bersifat porous sehingga mudah terjadi oksidasi yang selanjutnya dapat menurunkan durabilitas, serta mudah mengalami deformasi plastis.

- c. Nilai stabilitas tertinggi pada kondisi standar (2x75) dihasilkan dari campuran dengan filler *spent catalyst* pada campuran dengan DP 0,90 dengan nilai 1034 kg, sementara campuran dengan filler abu batu nilai tertinggi dihasilkan dari campuran dengan DP 0,55 senilai 916 kg. Nilai stabilitas campuran dengan filler *spent catalyst* lebih tinggi dikarenakan kandungan logam dalam katalis yang ikut berpengaruh memberikan tambahan daya dukung mortar sehingga kekuatan campuran secara keseluruhan lebih tinggi. Pada kondisi *refusal density* nilai stabilitas tertinggi dihasilkan dari campuran dengan DP 1,25 pada masing-masing penggunaan jenis filler.
- d. Nilai *flow* pada kondisi standar pada campuran dengan semua variasi penggunaan jenis filler mempunyai karakteristik yang sama yaitu nilai tertinggi dihasilkan dari campuran dengan DP 1,25 dengan nilai diatas ambang batas (min 2 mm), nilai *flow* naik seiring dengan pengaruh lama perendaman, hal ini terjadi karena pengaruh rendaman mengakibatkan ikatan aspal dalam campuran berkurang. Pada kondisi standar ataupun *refusal density* nilai *flow* tertinggi dihasilkan dari campuran dengan filler *spent catalyst* dengan nilai 3,820 mm dan 3,600 mm. Hal tersebut mengindikasikan bahwa campuran dengan filler *spent catalyst* pada campuran dengan DP 1,25 mempunyai kelelahan yang lebih tinggi dengan asumsi lebih bisa mempertahankan kondisi campuran pada saat terkena beban lalu lintas sehingga lebih elastis.
- e. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *IRS* pada kondisi standar, sampel pada campuran dengan filler *spent catalyst* pada variasi DP 1,25 memiliki karakteristik yang lebih *durable* jika dibandingkan pada variasi DP 0,55 dan 0,90. Sedangkan dari campuran yang menggunakan filler abu batu konvensional, nilai *IRS* tertinggi dihasilkan dari campuran dengan variasi DP 0,55 dengan nilai *IRS* 97 %. Dust proportion yang rendah dan lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *IRS* pada kondisi standar. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan daya ikat aspal terhadap agregat menjadi turun.

5.1.4 Dari hasil evaluasi pengujian Perendaman Modifikasi terhadap lama perendaman di atas menghasilkan indeks durabilitas sisa sebagai berikut ini :

a. Indeks Durabilitas Pertama

Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks penurunan stabilitas ( $r$  dan  $R$ ), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks penurunan stabilitas ( $r$  dan  $R$ ) sampel yang menggunakan *filler spent catalyst* dengan *dust proportion* 0,90 menghasilkan nilai tertinggi jika dibandingkan dengan *dust proportion* 0,55 dan *dust proportion* 1,25. Pada kondisi *refusal density* nilai tertinggi dihasilkan dari campuran dengan nilai *dust proportion* 0,55.

b. Indeks Durabilitas Kedua

Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai indeks stabilitas sisa ( $S_a$ ), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks stabilitas sisa ( $S_a / S_A$ ) sampel campuran dengan menggunakan *filler spent catalyst* pada kondisi standar menghasilkan nilai yang lebih rendah jika dibandingkan pada kondisi *refusal density*. Nilai indeks stabilitas sisa ( $S_a / S_A$ ) pada kondisi standar tertinggi dihasilkan dari campuran dengan variasi DP 0,90. Sedangkan pada campuran dengan filler abu batu konvensional nilai  $S_a$  tertinggi dihasilkan dari campuran dengan DP 0,55.

5.1.5 Dari analisa terhadap data hasil dari penelitian di laboratorium didapatkan campuran dengan filler spent catalyst menghasilkan analisa Marshall yang optimum pada DP 0,9 dan DP 1,25 sementara pada campuran dengan filler abu batu konvensional DP 1,25 saja. Kebutuhan DP tinggi dikarenakan campuran yang digunakan adalah HRS-WC yang mempunyai karakteristik bergradasi senjang sehingga kebutuhan terhadap aspal tinggi.

## 5.2 Saran

Dari hasil pengujian bahan agregat – aspal, analisis rongga dan pengujian *Marshall* dan pengujian Perendaman Modifikasi pada kadar dust proportion dengan variasi jenis filler, perlu beberapa saran untuk ditindak lanjuti, sebagai berikut :

- a. Spesifikasi untuk Lataston *HRS-WC* merupakan campuran ber-gradasi senjang sehingga *HRS-WC* membutuhkan kadar aspal yang tinggi untuk mendapatkan nilai *VFA* dan *VIM* sesuai spesifikasi baik pada kondisi standard maupun kondisi *refusal density*. Dari hasil penelitian ini untuk mendapatkan kadar aspal optimum digunakan nilai tengah dari kadar aspal yang memenuhi persyaratan, hasilnya tidak memuaskan. Dikarenakan nilai tengah dari kadar aspal ternyata menghasilkan nilai *VFA* dan *VIM* pada DP tertentu tidak memenuhi persyaratan. Hal ini disebabkan masih tingginya kadar aspal optimum (7,225%) dengan filler abu batu konvensional, dan pada campuran dengan filler *spent catalyst* RCC kadar aspal optimum (8,375 %). Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan rentang minus 2 dari kadar aspal rencana (6 - 6,5 – 7 - 7,5 - 8).
- b. Dari hasil analisis rongga, pengujian *Marshall* dan pengujian perendaman modifikasi pada campuran *HRS-WC* terhadap lama perendaman disarankan :
  - 1) Konstruksi lapis perkerasan jenis Lataston *HRS-WC* tidak boleh terendam oleh air selama 72 jam terus menerus karena akan menurunkan nilai karakteristik Marshallnya..
  - 2) Perlu penelitian lanjutan untuk mengatasi rembesan air ke dalam campuran dengan uji permeabilitas, serta penggunaan konstruksi bergradasi rapat semisal *AC-WC* dengan memperhitungkan kandungan kimia yang terdapat pada filler *spent catalyst* RCC.
  - 3) Perlu penelitian lebih mendalam untuk mendapatkan campuran aspal panas yang lebih durable dengan penggunaan filler alternative (semisal *spent catalyst* ini) mengingat keberadaan material konvensional sudah mulai langka di beberapa daerah tertentu yang akan mengakibatkan harga satuan bahan menjadi tinggi.

- 4) Perlu dikembangkan teknologi *recovery*, *reuse* dan *recycle* terhadap bahan-bahan yang sekiranya dapat diolah dan dimanfaatkan untuk bahan yang lebih berguna (khususnya untuk bidang rekayasa perkerasan jalan).

## DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Material, 1980, Annual Book of ASTM, Part is Road Paving.

AASHTO,1990, Standard Spesifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing,Part I Spesification. 15<sup>th</sup> Edition, AASHTO Publication, Washington.

AASHTO,1990, Standard Spesifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing,Part II Spesification. 15<sup>th</sup> Edition, AASHTO Publication, Washington.

AASHTO, 1993, Guide for Design of Pavement Structure, Washington DC.

American Association of State Highway and Transportation Officials, 1982, Standard Spesification for Transportation Materials nad Methods of Sampling and Testing, AASHTO, Washington DC, USA.

Bagus Priyatno, 2001, Metode Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (PRD) Berdasarkan Spesifikasi Yang Disempurnakan, Dalam Penataran Dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertes Wilayah VI, Oktober 2001.

Bina Marga, 1983, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON),No. 13/PT/B/1983, Directorate General of Highways, Jakarta.

Bambang IS, 1998, Karakteristik Pasir dan Bahan Pengisi serta Pengaruhnya terhadap Durabilitas Campuran Beraspal Jenis Hot Rolled Sheet, Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya ITB,Bandung.

British Standard Institution, 1992, BS 594 Part 1 & 2, Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas,London.

British Standard Institution, 1989, BS 3690 Bitumen fo Building and Civil Engineering Part 1 & 2,London.

Crauss, J. et al, 1981, Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Type and Properties, Proceeding Associate of Asphalt Paving Technologist Technical Sessions, San Diego, California, February 16, 17 and 18, 1981,Volume 50.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah,2001, Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas,Edisi Terbaru, Pusat dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Bandung.

Departemen Pekerjaan Umum, 1999, Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi,Bandung.



Hartom, 1985, The Influence of Fine Aggregate Type on Resistance to Permanent Deformation of Hot Rolled Asphalt, Magister Thesis, Institute of Technology Bandung.

Hunter RN, 1994, Bituminous Mixtures in Road Construstion, Thomas Telford, London.

Kerb, RD and Walker, RD, 1971, Highway Materials, Mc Graw Hill, New York.

Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran, 2000, Implementasi dan Sertifikasi Pemanfaatan Katalis Bekas RCC Sebagai Filler Beton Aspal dan Mineral Admixture Beton Struktur dan Non Struktur, Bandung.

Silvia S, 1995, Beton Aspal Campuran Panas, Granit Jakarta.

Shell Bitumen, 1990, Shell Bitumen Handbook, Publised By Shell Bitumen, U.K.

The Asphalt Institute, 1993, Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types, Manual Series No.2 (MS-2) Sixth Edition, Oktober 1993.

Wan Ramli, 2000, Pengaruh Dust Proportin Tinggi dan Lama Perendaman Terhadap Karakteristik Campuran Panas Beton Aspal dengan Kadar Filler Rendah Berdasarkan Uji Marshall, Thesis Magister STT UGM, Yogyakarta.

